

**Coordinadores:**

Beatriz Yolanda Moratilla Soria  
José Ignacio Linares Hurtado  
María del Mar Cledera Castro  
Alexis Cantizano González

**Autores:**

Javier Gómez Navarro  
José Emeterio Gutiérrez  
Manuel Acero  
Luis Gutiérrez Jodra  
Juan Antonio Rubio  
Jorge Lang Lenton  
Isabel Mellado  
Margarita Herranz Soler  
Juan Ortega  
Martín Regaño Ureña  
Adolfo García Rodríguez  
José María Zubimendi  
José Manuel García Mondús  
Roberto González Villegas  
Emilio Mínguez  
Juan Velarde  
Luis Enrique Herranz Puebla  
Fernando Micó  
José G. Aycart  
Ana de Palacio

**Edita:**

Asociación Nacional  
de Ingenieros del ICAI



COLECCIÓN: AVANCES DE INGENIERÍA

Análisis de situación y perspectiva de nuevas tecnologías energéticas

8

# Energía nuclear: estado actual y perspectiva inmediata



**Edita:**

© Asociación Nacional de Ingenieros del ICAI  
Reina, 33. 28004 Madrid  
[www.icaei.es](http://www.icaei.es)

© Universidad Pontificia Comillas  
Alberto Aguilera, 23. 28015 Madrid  
[www.upcomillas.es](http://www.upcomillas.es)

Sólo se permite la reproducción parcial de este libro, y con la condición de que se indique de forma precisa la fuente original.

**ISBN:** 978-84-935950-1-2

**Depósito Legal:** M-4515-2011

# Energía nuclear: estado actual y perspectiva inmediata

COLECCIÓN: AVANCES DE INGENIERÍA

Análisis de situación y prospectiva de nuevas tecnologías energéticas

# 8

Editan:



Asociación Nacional  
de Ingenieros del ICAI



Cátedra Rafael Mariño de  
Nuevas Tecnologías Energéticas  
Escuela Técnica Superior  
de Ingeniería (ICAI)

Coordinadores:

BEATRIZ YOLANDA MORATILLA SORIA—JOSÉ IGNACIO LINARES HURTADO—MARÍA DEL MAR CLEDERA CASTRO—  
ALEXIS CANTIZANO GONZÁLEZ

Autores:

JAVIER GÓMEZ NAVARRO—JOSÉ EMETERIO GUTIÉRREZ—MANUEL ACERO—LUIS GUTIÉRREZ JODRA—JUAN ANTONIO RUBIO—JORGE  
LANG LENTON—ISABEL MELLADO—MARGARITA HERRANZ SOLER—JUAN ORTEGA—MARTÍN REGAÑO UREÑA—ADOLFO GARCÍA  
RODRÍGUEZ—JOSÉ MARÍA ZUBIMENDI—JOSÉ MANUEL GARCÍA MONCLÚS—ROBERTO GONZÁLEZ VILLEGAS—EMILIO MÍNGUEZ—  
JUAN VELARDE—LUIS ENRIQUE HERRANZ PUEBLA—FERNANDO MICÓ—JOSÉ G. AYCART—ANA DE PALACIO



La Asociación Nacional de Ingenieros del ICAI y la Cátedra Rafael Mariño de Nuevas Tecnologías Energéticas de la Universidad Pontificia Comillas quieren agradecer su colaboración a las siguientes empresas e instituciones:

El Patrocinador de la Cátedra:



Patrocinaron la Jornada:



Colegio Nacional  
de Ingenieros del ICAI





# Índice

Prólogo .....	9
<b>Capítulo I: Energía nuclear: análisis y prospectiva</b>	
• <b>Introducción desde el punto de vista de la industria</b> JAVIER GÓMEZ NAVARRO (CONSEJO SUPERIOR DE LAS CÁMARAS DE COMERCIO, INDUSTRIA Y NAVEGACIÓN DE ESPAÑA) .....	13
• <b>Introducción desde el punto de vista de los profesionales del sector</b> JOSÉ EMETERIO GUTIÉRREZ (SOCIEDAD NUCLEAR ESPAÑOLA) .....	17
• <b>Introducción desde el punto de vista de la Ingeniería Española</b> MANUEL ACERO (INSTITUTO DE LA INGENIERÍA DE ESPAÑA) .....	21
<b>Capítulo II: Gestión y transporte de residuos. Transmutación y reprocesado</b>	
• <b>Reproceso del combustible nuclear</b> LUIS GUTIÉRREZ JODRA (REAL ACADEMIA DE CIENCIAS) .....	27
• <b>Amplificador de energía</b> JUAN ANTONIO RUBIO (CIEMAT) .....	35
• <b>Gestión y transporte de residuos radioactivos</b> JORGE LANG LENTON (ENRESA) .....	45
<b>Capítulo III: Centrales actuales: gestión de vida útil</b>	
• <b>Gestión de vida útil</b> ISABEL MELLADO (CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR) .....	55
• <b>Contribución de la inspección en servicio a la gestión de la vida útil de las centrales nucleares</b> MARGARITA HERRANZ SOLER (UPV/EHU- SEPR) .....	63

• <b>Contribución de la inspección en servicio en la gestión de la vida útil de las centrales nucleares</b> JUAN ORTEGA (TECNATOM) .....	75
• <b>Operación a largo plazo de las centrales nucleares españolas: renovación de la autorización de explotación de Santa María de Garoña</b> MARTÍN REGAÑO URETA (NUCLENOR) .....	87

## Capítulo IV: La industria española en la energía nuclear

• <b>La industria en un mundo globalizado. El caso de la energía nuclear</b> ADOLFO GARCÍA RODRÍGUEZ (EMPRESARIOS AGRUPADOS) .....	99
• <b>La industria nuclear en el campo de los bienes de equipo</b> JOSÉ MARÍA ZUBIMENDI (ENSA) .....	111
• <b>Válvulas de seguridad nuclear</b> JOSÉ MANUEL GARCÍA MONCLÚS (RINGO VÁLVULAS) .....	119
• <b>Enusa, referente de la primera parte del ciclo de combustible nuclear</b> ROBERTO GONZÁLEZ VILLEGAS (ENUSA) .....	129

## Capítulo V: Aspectos socio-económicos de la energía nuclear

• <b>Energía nuclear: necesidades de formación</b> EMILIO MÍNGUEZ (UPM) .....	139
• <b>Las consecuencias socio-económicas de la moratoria nuclear</b> JUAN VELARDE (REAL ACADEMIA DE CIENCIAS MORALES Y POLÍTICAS).....	149
• <b>I+D Nuclear: desafíos de hoy y mañana</b> LUIS ENRIQUE HERRANZ PUEBLA (CIEMAT).....	155

## Capítulo VI: La Tercera Generación Nuclear

• <b>Alianzas para la Seguridad del Suministro Energético</b> FERNANDO MICÓ (AREVA) .....	167
• <b>Nuevos diseños y experiencia contrastada</b> JOSÉ G. AYCART (GENERAL ELECTRICS-HITACHI) .....	175
• <b>La Tercera Generación Nuclear</b> JOSÉ EMETERIO GUTIÉRREZ (WESTINGHOUSE ELECTRIC, LLC) .....	183

## Capítulo VII: Análisis sobre la energía nuclear

• <b>Análisis sobre la energía nuclear</b> ANA DE PALACIO (AREVA) .....	195
--	-----

# Prólogo

La necesidad de garantizar el suministro energético, avanzar hacia una economía con bajas emisiones de CO<sub>2</sub> y disponer de una industria cada día más competitiva, sitúan a la energía nuclear en un lugar protagonista en la situación económica mundial, y por supuesto española. El libro que tengo el honor de prologar es un análisis en profundidad de la realidad de un sector como el nuclear, tan polémico como relevante para la política energética.

La labor de difusión que desarrolla la Cátedra Rafael Mariño de Nuevas Tecnologías Energéticas aporta un significativo valor para los profesionales del sector energético y para los alumnos universitarios. La recopilación de las ponencias de la Jornada VI, celebrada en mayo de 2009 es una muestra del brillante trabajo desarrollado en los últimos años por esta Cátedra. En el libro se presentan las aportaciones de un elenco de expertos que abordan las cuestiones más relevantes sobre la energía nuclear, desde la primera parte del ciclo de combustible hasta la gestión de los residuos radiactivos.

En los últimos resultados del Eurobarómetro (análisis periódico de la opinión pública en la Unión Europea), un 45% de los europeos considera que los científicos son el colectivo que mayor credibilidad tiene a la hora de informar sobre seguridad nuclear. En España, las últimas encuestas realizadas sobre aceptación social de la energía nuclear indican que un 33% de la población está a favor del uso de la energía nuclear. El camino para transformar la opinión sobre esta industria es largo, pero abordable.

A mayor información obtenemos mejor aceptación y este libro llega en un momento en el cual la demanda de información es enorme sobre la cuestión energética y todos aquellos asuntos que afectan a la macroeconomía. Tenemos que ser capaces de transmitir que la energía nuclear es la fuente de energía más económica, que funciona todas las horas del año de forma continua, que no emite ningún gas de efecto invernadero y que garantiza nuestro suministro eléctrico.

Además de la competitividad de las distintas fuentes de energía, la garantía de suministro eléctrico debe ser una cuestión prioritaria de Estado. Las instituciones, agentes sociales, los políticos y la industria deben trabajar conjuntamente para prescribir la mejor fórmula posible que garantice el suministro eléctrico de las próximas décadas. Desde la Universidad, también se puede y se debe abordar la formación analítica y científica en estos temas de gran calado para el futuro del país.

El sector nuclear aporta una valiosa contribución al desarrollo económico de Europa, así como garantía de suministro eléctrico y el cumplimiento de los objetivos

medioambientales. Por lo tanto, la opción de la energía nuclear debe mantenerse abierta, así como los conocimientos y la tecnología nuclear con el fin de lograr un *mix* eléctrico equilibrado, controlar la contaminación y frenar las emisiones de CO<sub>2</sub>, mantener la seguridad de suministro y un cierto nivel de independencia energética, así como promover el desarrollo económico y el empleo.

El desarrollo nuclear es cada vez más manifiesto. En la actualidad hay 441 reactores en el mundo que producen el 17% de la electricidad mundial, y 60 más están en construcción, según los últimos datos del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).

En la última edición del Informe World Energy Outlook 2010 se hace un pronóstico del incremento mundial de demanda energética para 2035. El crecimiento previsto es de un 36% y, considerando este escenario correcto, deberíamos anticipar cuanto antes cómo vamos a responder a la demanda de energía, no sólo en los países de nuestro entorno, sino en países como China e India con una potencial de crecimiento enorme. La inversión en tecnología e investigación es ineludible para asegurar un futuro sostenible. La formación de calidad y el traspaso generacional son otros dos factores indispensables para el sector nuclear ahora y en los años venideros.

Tenemos importantes retos energéticos y medioambientales que cumplir y no se podrán lograr sin tener en cuenta a la energía nuclear. En Europa, como en el resto del mundo, la energía nuclear está consolidada como una fuente de energía fundamental en el mix energético presente y futuro. Gracias a publicaciones como ésta, vamos en la línea correcta de la divulgación sobre la energía nuclear. Desde aquí mi agradecimiento a la Cátedra Rafael Mariño de Nuevas Tecnologías Energéticas y a todos los colaboradores y autores de esta obra.

Feliz lectura

Bruselas, Diciembre 2010

**Santiago San Antonio**  
FORATOM / European Nuclear Society

# CAPÍTULO I

## Energía nuclear: análisis y prospectiva

### 1. Introducción desde el punto de vista de la industria

**Autor:** Javier Gómez Navarro

**Institución:** Consejo Superior de las Cámaras de Comercio, Industria y Navegación de España

**Cargo:** Presidente

### 2. Introducción desde el punto de vista de los profesionales del sector

**Autor:** José Emeterio Gutiérrez

**Institución:** Sociedad Nuclear Española

**Cargo:** Presidente

### 3. Introducción desde el punto de vista de la Ingeniería Española

**Autor:** Manuel Acero

**Institución:** Instituto de la Ingeniería de España

**Cargo:** Presidente



# Introducción desde el punto de vista de la industria

JAVIER GÓMEZ NAVARRO – CONSEJO SUPERIOR DE LAS CÁMARAS DE COMERCIO, INDUSTRIA Y NAVEGACIÓN DE ESPAÑA

## Introducción

Vamos a plantear la situación energética en España, la incidencia de la situación energética en la empresa y la importancia que para la industria española y en general, para la actividad y política económica española, tiene la energía nuclear.

En España hace mucho tiempo que no hay una política energética coherente. Esto hace que las empresas difícilmente puedan hacer previsiones sobre sus costes energéticos, hacia dónde van y cuál será la influencia de los costes de la energía en su producción.

Llevamos bastantes años en que los precios de la energía no se corresponden con los costes reales de producción. Es el llamado déficit tarifario, que significa que las compañías eléctricas tienen un compromiso del gobierno para cobrar un precio por la energía que suministran. Pero las tarifas no cubren ese precio, y por lo tanto se produce un déficit que no se sabe quién lo va a pagar. En teoría, se pagaría en el recibo de los siguientes años, pero en la realidad lo que se recauda en el recibo de la electricidad es menos del déficit que se genera cada año. Y éste aumenta sin parar. Ahora parece que va a haber un compromiso del gobierno de hacerse cargo de parte del déficit, pero hasta el momento presente no se sabe si se va a pagar con nuestros impuestos, si lo van a pagar nuestros nietos, o no lo va a pagar nadie. Ésta ha sido la angustia del sistema eléctrico. Como los bancos empiezan a tener exigencias, el gobierno se ha visto forzado a adquirir ciertos compromisos.

## Política energética

Al analizar la política energética de los últimos años, no sólo de los cinco últimos, que también, sino anteriormente, descubrimos que nos hemos movido a bandazos sin saber

a qué apostábamos, y sin hacer previsiones a largo plazo. Esto es imprescindible en un sector donde las inversiones maduran después de muchos años. Una central nuclear, por muy deprisa que se construya, tarda al menos ocho años en ponerse en funcionamiento.

La caída de la demanda eléctrica como consecuencia de la crisis nos va a dar uno o dos años de margen para tomar decisiones. Si la demanda eléctrica hubiera seguido subiendo del orden del 5%, estaríamos ante una situación de urgencia de cómo poder garantizar el suministro en cantidad y en calidad, y al final, en precio, que es un elemento determinante.

Como no se avanza en el debate, ni en el posicionamiento de la sociedad española frente a las fuentes de energía primarias, no hay avance. Hay que ser conscientes de que tenemos unas necesidades energéticas determinadas, y que hay que satisfacerlas. Además hay que saber que no hay ninguna fuente de energía inocua y limpia. Podemos decir que los aerogeneradores son limpios porque no emiten CO<sub>2</sub>, pero el impacto sobre el paisaje es enorme. Lo mismo que todas las energías de origen solar. El impacto paisajístico sobre el territorio que generan las plantas es muy grande. La opinión depende de los matices ecologistas que primen. La energía más limpia de todas es la hidráulica, pero hacer un pantano hoy en día es absolutamente imposible, por rechazo de los ecologistas.

Al final tenemos que plantearnos en qué sociedad queremos vivir, cuáles van a ser nuestras necesidades energéticas y suministrar la energía que la sociedad necesita con las máximas garantías posibles. No hay nadie que se plantee que hay que asumir riesgos innecesarios o que no sean soportables por la sociedad. Ante todo debemos formar una opinión pública suministrando la máxima información posible, para que sea capaz de tomar decisiones y participar en el debate de una manera ilustrada.

Los partidos políticos tienen pánico a las encuestas, donde cerca del 70% de los encuestados están en contra de la energía nuclear. Todo depende de cómo se haga la pregunta, y sobre todo de la información que se tenga. No se informa de que en España no ha habido ningún muerto por las centrales nucleares, pero sí por la energía nuclear en los hospitales. Y a la gente no le da miedo irse a radiar a un hospital cuando le causa pavor una central nuclear. La percepción de los riesgos es un tema que nada tiene que ver con los riesgos. Si no conseguimos cambiar la percepción que la sociedad tiene de los riesgos será muy difícil que se construyan centrales nucleares nuevas, incluso que se prorroguen las actualmente existentes. La percepción social sigue siendo muy negativa.

¿Y por qué es así? Pues, o porque las autoridades no han tenido los medios suficientes para hacer una buena campaña de difusión, o porque no han tenido ningún interés en hacer una política de difusión de esa información y de crear una opinión pública

mucho más documentada e informada que sea capaz de valorar objetivamente los riesgos. Evidentemente, la sociedad y los ciudadanos tienen derecho a opinar sobre los riesgos que están dispuestos a correr. La probabilidad de un accidente nuclear es una entre un millón. Es mucho más probable una explosión de gas que un accidente nuclear, sin embargo, no tenemos miedo a instalar gas en nuestra casa y hay accidentes con muertos muy a menudo. Hay un abismo entre la realidad de los riesgos y la percepción que el ciudadano tiene de ellos.

Pero tampoco se plantean las consecuencias que tendría la desaparición de la energía nuclear sobre el suministro energético, el eléctrico en concreto, y sus tarifas. Tenemos mucho sol, hagamos energía solar. Es muy bonito, sin emisiones de CO<sub>2</sub>, sin riesgos, pero, ¿qué pasa con el coste de entrada en la red? Es cinco o seis veces más caro que el resto. Para mantenernos sólo con energías renovables, el suministro eléctrico español, por mucho avance tecnológico que hubiese, tendría que multiplicar sus tarifas por 3, 4 ó 5. Creemos que por mucha evolución tecnológica que se consiga, los costes no se van a igualar con el coste hidráulico o nuclear. Tenemos que ser conscientes de qué precio queremos pagar por la energía.

Tiene que haber una participación de las energías renovables en España, pero tendrán que tener la participación que les corresponda según sus características. Las energías renovables dependen de la climatología, y no son almacenables. Hay que garantizar un sistema estable, con garantía de suministro independientemente de que haya viento o no, con sol o sin sol.

Hay que generar un “mix” de origen energético que permita garantizar esa estabilidad, así como evitar los riesgos desde el punto de vista político. No es indiferente que los combustibles fósiles, sobre todo el petróleo y el gas, se produzcan en países conflictivos y con riesgos políticos evidentes. Hay que medir qué riesgos se corren, no sólo de que se tenga un accidente nuclear (en España no ha habido ningún accidente con consecuencias y sólo dos en todo el mundo: Chernobil y en Estados Unidos, este último sin muertos aunque preocupante), sino también los riesgos de quedarnos sin suministro por un conflicto político. Y no jugar a hacer una política energética que implique una alteración de precios, porque las empresas tienen que hacer provisiones para sus costes de inversión y debemos garantizar los precios.

La política de falsear las tarifas lleva muchos años. Empezó el Gobierno del PP, para luchar contra la inflación, que separó los costes que tenían repercusiones públicas –como las autopistas y los costes eléctricos– del precio del servicio. Y el actual Gobierno del PSOE sigue por el mismo camino. No es un problema de un partido u otro, ya que las políticas han sido relativamente parecidas, eso es insostenible. Todo lo que sean subvenciones encubiertas son nefastas para la economía. No hay nada gratis en la sociedad; si no lo paga el consumidor directamente, lo paga a través de los impuestos o por otro sistema.

Por ejemplo, las cámaras de comercio llevan un tiempo peleando con un tema muy grave: el coste de la legislación. Los ciudadanos y los parlamentarios no son conscientes de que las leyes cuestan mucho dinero. La aplicación de cualquier legislación es muy cara y alguien la paga. En primer lugar las industrias, que la repercuten al consumidor; y al final muchas de las leyes que se hacen, que son innecesarias, tienen un coste importante.

Como representante de las cámaras de comercio y de las empresas españolas, lo que necesitamos es una política clara de largo plazo que garantice el suministro, hecha sin “a priori” políticos, simplemente un análisis racional de las distintas fuentes energéticas alternativas posibles y que se genere un “mix” que garantice un suministro a largo plazo, que permita tarifas lo más estables posible. Todo lo que no sea eso es muy negativo para la industria y por supuesto para el consumidor, al que se le suele tener menos en cuenta en las decisiones políticas por ser un elemento de última instancia.

Y desde luego, no se va a hacer nada en la sociedad española si no se cambian las opiniones de la mayor parte de los ciudadanos. Eso requiere un pacto político. Puede que sin nada más se dé una prórroga a la central de Santa María de Garoña, para salir del paso en este momento, pero no se puede construir una central nuclear nueva sin un pacto político entre los grandes partidos, ni sin una campaña de explicación a los ciudadanos de los riesgos. Esto es inviable. Y evidentemente, la construcción de una central nuclear sería un impulso industrial y de generación de empleo para España, una política industrial activa importante. |●|

# Introducción desde el punto de vista de los profesionales del sector

JOSÉ EMETERIO GUTIÉRREZ – SOCIEDAD NUCLEAR ESPAÑOLA

## Introducción

El tema de la energía nuclear es un tema de vital importancia actualmente. La Sociedad Nuclear Española representa a más de mil profesionales que diariamente trabajan en las instalaciones nucleares y en las empresas del sector, que tienen un profundo conocimiento de lo que allí se hace y pueden dar fe de que muchas de las cosas que se dicen sobre la energía nuclear, por desconocimiento, son falsedades. Pero esa es la realidad que vivimos y con la que tenemos que trabajar.

Estamos en un momento de debate a nivel mundial. El tema de la energía nuclear está sobre la mesa en prácticamente todos los países del mundo, por supuesto en los de la Europa Comunitaria también. La diferencia está en cómo se produce ese debate.

En fechas recientes se celebró un foro internacional de jóvenes nucleares en Córdoba, organizado por los “Jóvenes Nucleares Españoles”, que contó con la participación de más de 140 jóvenes de la industria nuclear. Esto dice mucho de la situación de la energía nuclear en Europa, porque es el doble de la participación del foro que se celebró hace dos años. Significa que la industria nuclear está creciendo en el mundo. Es un sector que está creando empleo en todo el mundo. Son miles de personas las que se están incorporando, entre ingenieros y profesionales de distintas áreas a las empresas del sector, porque estamos en un mundo muy global, y efectivamente tenemos muchos jóvenes que se incorporan a esta industria. En ese foro había personas de 19 países, muchos españoles, porque también en España, pese a la situación actual, las empresas del sector están creando empleo, participando en proyectos internacionales.

En ese foro se producía una dicotomía hablando con gente de distintos países: el debate en otros países es cómo se cambian las decisiones tomadas, cómo emprendemos el camino de construir nuevas centrales, cómo lo hacemos, a qué velocidad, de

qué manera, etc. Nuestro debate es: ¿cerramos o no cerramos Garoña? Hay una diferente perspectiva con lo que están haciendo nuestros socios en la Unión Europea y otros muchos países en el mundo.

Démosle la vuelta al tema. Aunque el matiz del debate español sea algo diferente, es bueno que discutamos y debatamos, sobre todo en un momento en el que sufrimos una crisis económica tan importante. Se solapan una crisis financiera, una crisis económica e inmobiliaria, es decir, de distintos tipos, pero también vemos que permanentemente vivimos en una crisis energética. Desde hace muchos años nos levantamos mirando cuál es hoy el precio del barril de petróleo y viendo que las fluctuaciones en el precio de ese barril marcan nuestra vida diaria (cada vez que llenamos el depósito de gasolina vemos que el precio ha variado).

Frente a eso hay países que están tomando decisiones y adoptando políticas activas para intentar reducir el impacto de esa crisis energética sobre su economía. Vemos cómo la Unión Europea toma decisiones sobre la aportación de las energías renovables en un futuro cercano y establece multitud de objetivos para el 2020. En general está bien. Pero sólo fijando objetivos, con buenas palabras y buenas intenciones, no se consiguen hacer realidad esos objetivos. Hay que tomar iniciativas. En muchos países no hay planificación energética. Hay un 20% planificado para las energías renovables, pero el 80% restante no está planificado. Sólo se dice “no haga esto o aquello, no haga nucleares, no use carbón...”. ¿Qué se hace, entonces?

No sé si hay que recuperar el concepto de planificación energética, pero en un sector como el energético, de largo plazo tan estratégico y con un impacto tan importante en la vida de los ciudadanos, algún tipo de decisión de largo plazo habrá que tomar.

Hay países que lo están haciendo. Han fijado tres objetivos básicos de su política energética:

- La garantía de suministro. Que significa tener la certeza de que van a poder tener las materias primas energéticas que necesitan. No la independencia energética ni el autoabastecimiento. Y para ello toman las decisiones adecuadas.
- Competitividad. Necesito tener la energía a unos precios estables y competitivos, predecibles.
- Cumplir los retos medioambientales que la sociedad exige.

Con estos tres objetivos se ponen a trabajar. Por ejemplo, se está haciendo bastante bien en el Reino Unido. Ante una situación muy complicada por tener que parar 18.000 MW entre carbón y energía nuclear (por las condiciones que tenía) y por su dependencia energética (ha pasado a convertirse de exportador en importador de energía eléctrica), el Gobierno británico se ha puesto manos a la obra. Y están trabajando en el área de las energías renovables pero también en el área nuclear.

Está poniendo en marcha un plan de incorporación de muchos GW nucleares, ha establecido las normas y el entorno para que la industria privada lo ejecute. Ese plan se está ejecutando de una manera muy estructurada y muy seria.

En otros países, como Estados Unidos, también se están firmando contratos para la construcción de nuevas centrales nucleares. La nueva administración norteamericana apuesta por la energía nuclear y por las renovables. Se verá más la parte de renovables que la nuclear, pero están trabajando en ambas líneas con algo fundamental: poniendo dinero para la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías necesarias para que estos temas evolucionen.

En China, ante la crisis mundial que vivimos, se ha tomado la decisión de acelerar el plan nuclear que estaban llevando a cabo. Para un país como China son imprescindibles las inversiones en el sector nuclear, desde el punto de vista tecnológico, de empleo y de localización de empresas con alta tecnología.

Hay otros muchos países moviéndose de la misma manera. Y en España el enfoque es algo diferente, posiblemente sólo de momento; tarde o temprano tendremos que tomar esa senda que otros países de nuestro entorno están tomando. Efectivamente vivimos en un mundo bastante global, donde las empresas tienen que competir dentro y fuera de España y no podemos hacer lo contrario que otros de nuestro entorno o con los que competimos. En esta economía global, países que tomen tarde las decisiones, o no las tomen, o las tomen equivocadamente, pueden pagarlo durante muchos años. De hecho, hay países que han pagado el tema energético durante muchos años y ahora están tomando decisiones en sentido contrario.

En España tenemos una dependencia energética exterior muy alta, el 85%. Tenemos una debilidad en el suministro de las materias primas energéticas, un problema de competitividad, no cumplimos los compromisos de Kioto, aparecen nuevas necesidades energéticas y aunque la demanda esté cayendo del orden del 12% en los últimos meses por la crisis, en cuanto salgamos recuperaremos los índices de crecimiento de la demanda de energía eléctrica como los que teníamos. Además queremos incorporar desaladoras, coches eléctricos, estamos hablando de producir hidrógeno, etc, y eso no se produce de la noche a la mañana. Habrá un crecimiento de la demanda eléctrica y tendremos que poder satisfacer esa demanda.

¿Cómo lo vamos a hacer? La utilización de todas las tecnologías es absolutamente imprescindible. Nadie en el sector nuclear ha podido decir que con el 100% de nuclear estaría satisfecha la demanda. Sería un gravísimo error cubrir la curva de la demanda con sus valles y sus picos con energía nuclear únicamente, como sería un error decir que se va a cubrir con el 100% de renovable. La adecuada combinación de las energías renovables que pueden cubrir y tienen su papel importante cubriendo algunas puntas, a pesar de su variabilidad, con la energía nuclear y avanzando las

tecnologías, con el uso del carbón de una forma limpia, sería una línea de combinación muy interesante. Es lo que muchos países están haciendo, cada uno con sus características.

En España tenemos un déficit exterior muy importante. Forma parte de la idiosincrasia de la crisis española. La factura energética es tremenda y forma parte del déficit exterior, además, tenemos un grave problema de competitividad. Las decisiones que se tomen con esta parte de la economía son de enorme importancia.

La industria nuclear española está capacitada con un muy alto nivel y compite internacionalmente. Entre el 50 y el 80% de la producción industrial en España va a mercados internacionales. Algunas de estas empresas tienen contratos firmados para la construcción de reactores de tercera generación en China y Estados Unidos. Es decir, que tenemos una situación de base en España muy favorable para retomar el camino de la construcción de nuevas centrales nucleares.

Cuando se produjo la moratoria nuclear, muchos países desmantelaron parte de su industria, pero España mantuvo esa capacidad, incluso en algunos casos la potenció. Y hoy día tenemos una situación envidiada en otros países de Europa. Es importante que esas capacidades no se pierdan, en un momento de crisis donde hablamos de modelos productivos diferentes. La industria nuclear crea empleo de calidad, estable, tecnológico y hace inversiones que apoyan a otras industrias y en determinadas zonas de España están creando mucho empleo de calidad u tecnológico. Hay inversiones en investigación y desarrollo y, por tanto, perder esa posibilidad de apoyarnos en esa industria para relanzarnos en ese programa sería un error más.

¿Cómo se percibe desde la sociedad este debate nuclear? Esperamos que continúe y cambie de signo en España y nos permita contar con un modelo energético que haga que la sociedad y la economía española pueda competir adecuadamente en este mundo global. |●|

# Introducción desde el punto de vista de la Ingeniería Española

MANUEL ACERO – INSTITUTO DE LA INGENIERÍA DE ESPAÑA

## Introducción

Estamos viviendo un momento crítico, en el que próximas decisiones pueden influir en la posición y el futuro de la energía nuclear en nuestro país. Trataremos del triángulo de la sostenibilidad, la competitividad y el medio ambiente.

Estamos ante un reto insoslayable. Es algo que no permite disquisiciones ni dudas, ni planteamientos estrictamente políticos. Hay unas exigencias sociales y técnicas a las que hay que hacer frente por encima de otras intenciones.

## Sostenibilidad

El crecimiento de la demanda de electricidad, de las energías primarias y el crecimiento de la población mundial es muy fuerte. Las existencias de combustibles, según los productores mundiales de petróleo, durarán unos 40 años, y antes de llegar al final habrá fuertes dificultades para su obtención; lo conseguirá el que tenga la capacidad política y económica para hacerlo. Esta cifra se ha mantenido durante mucho tiempo, pero compensarla es cada vez más difícil. Y aunque se encuentran nuevos yacimientos, es cada vez más difícil y costoso acceder a ellos. Por ejemplo, el yacimiento que recientemente ha descubierto Repsol frente a las costas de Brasil está a una profundidad de 2.140 m y a bastante distancia de la costa. Y así es todo lo que se va descubriendo ya. Costes elevadísimos y cada vez menos frecuencia en los descubrimientos. Para el gas se prevén unas existencias de 60 años.

Desde la perspectiva de la sostenibilidad, en lo que a los combustibles fósiles se refiere, estamos en una situación que ya demanda acciones sustitutorias. Estamos hablando de algo que es obvio, con hechos, razones y datos que comparte todo el mundo, empezando por el Congreso Mundial del Petróleo.

Por otro lado, pasando al tema nuclear, en el año 2005 se publicó en el Libro Rojo (referente obligado para el seguimiento de los combustibles) un dato de existencias identificadas de 85 años, con existencias previstas de 270; pero están los fosfatos con sus 675 años de existencia. El presidente Sarkozy firmó un acuerdo nuclear con Marruecos con el objetivo de acceder a las reservas de fosfatos de ese país, que son el 75% de las existencias en el mundo. Eso supone 6 millones de toneladas de uranio que es algo así como el doble de las reservas mundiales actuales.

Con el uso de la tecnología de los reactores rápidos, estamos manejando supuestos óptimos; se estima una disponibilidad ilimitada, 19.000 años según el Libro Rojo, que está escrito por expertos reputados y que además se someten a la crítica abierta de todo el entorno mundial.

Y el impacto que tiene el combustible nuclear es el 5% en el precio del KWh. Por tanto, no solamente tiene unas garantías de sostenibilidad más que aceptables, sino que además tiene una independencia de la fluctuación de costes que le hace particularmente interesante de cara al funcionamiento económico de un país.

## Competitividad

La energía nuclear es competitiva en prácticamente cualquier sitio. Es necesario que haya unas centrales de carbón a bocamina o unas condiciones muy peculiares para que esa energía pueda competir con la nuclear en cuanto a costes.

Los datos del estudio, muy profundo y formal, que generó la construcción de la 5ª central nuclear en Finlandia, demostraron que la energía nuclear era la más conveniente. También en la OCDE se han hecho estudios de la competitividad de la energía nuclear y demuestran que está en una situación claramente ventajosa.

## Medioambiente

Todos sabemos el desastre que supone, al margen de la gestión de las distintas administraciones, la situación en la que nos encontramos con respecto a los acuerdos de Kioto. Teníamos derecho a aumentar el 15% de las emisiones sobre lo que estábamos emitiendo entonces. Pero llegamos a alcanzar hasta un 52%, después un 49%... Andamos en la actualidad por cifras de ese orden, desde luego, muy lejos de lo que para el 2012 se nos había permitido. En eso cuenta mucho el mix energético que tenemos y el hecho de que no haya más centrales nucleares, que no emiten CO<sub>2</sub> y que hubieran permitido plantearse el poder alcanzar los objetivos que se aceptaron en su momento.

Las energías que más ahorran gases de efecto invernadero en todo el ciclo del combustible son, hoy por hoy, las nucleares. Sería bueno que eso se dijera, al mismo tiempo que se cita lo que ahorran otras fuentes energéticas.

En el tema medioambiental, la escasez de agua es un problema. Nos está preocupando a todos y se buscan soluciones para su ahorro. Con el suelo nos viene un problema también, la construcción de determinadas fuentes de energía repercute en el suelo que utilizan. Habrá que tenerlo también en cuenta, llegando el día en que eso sea una clara y fuerte restricción.

Y por último hay que citar los residuos. Recordemos que cuando se construyó El Cabril, manejar los residuos de media y baja radioactividad era un gran problema. Los lodos de las piscinas de las centrales antes de su vertido al río eran una fuente continua de problemas. Se construyó El Cabril y no se ha vuelto a hablar de ello. El Cabril funciona estupendamente, con unas condiciones de seguridad exageradas, rodeado de terrenos controlados por la propia instalación y con un montón de barreras que incluso parecen excesivas. Ya no existe el problema de la media y baja radioactividad.

El tema del desmantelamiento de centrales, como por ejemplo la de Vandellós, donde ENRESA tomó un papel muy activo. El proyecto se finalizó en precio y plazo, se dejó disponible el 80% del emplazamiento. El 20% del emplazamiento está en periodo de latencia, pero en breve quedará totalmente accesible y restaurado.

O el tema de Zorita, con un eco mínimo, casi nulo. La prensa no está entrando en el proceso de Zorita para nada, mientras que en el de Valdellós eran constantes demandas de entrevistas, de supuestos, rumores, etc. Es un tema superado.

Y entramos también en el *almacenamiento temporal centralizado*. Cuando se supere esta situación de ejercicio netamente político sobre temas que no lo son, como es el caso de la energía nuclear, y cuando se haga el *almacenamiento temporal centralizado*, cambiarán las posturas con respecto al problema de los residuos. El *almacenamiento temporal centralizado* en Holanda está en un parque industrial, rodeado de instalaciones industriales. Estamos hablando de algo temporal, pero son periodos de 100 años. Vemos que la verdadera realidad del problema no es crítica ni agobiante.

## Efecto multiplicador

En Cofrentes se hizo un estudio para el periodo de construcción, que es mucho más impactante, porque el movimiento de capitales es muy fuerte; de empleo de personas; de contratos de fabricación de bienes de equipo; con empresas, ingenierías, etc. Pero es particularmente llamativo y está así reconocido, que el efecto multiplicador,

que es como se define lo que una industria produce cuando invierte en una determinada zona, genera un valor añadido bruto en la renta de las personas y en la creación de empleo. En el mundo de la energía nuclear este efecto multiplicador es particularmente alto. En el Foro de Energía Nuclear hicimos un trabajo recurriendo a la actualización de los datos que habíamos tomado en 2003. Y pudimos comprobar que se crearon ese año 30.000 empleos, con un valor bruto de 2.600 millones de euros, etc.

Esto, añadido al carácter de punta de la tecnología, produce un impacto muy positivo en el país, lo que hace que la energía nuclear aporte valores muy contundentes.

## La opinión pública

La evolución de la opinión pública en Finlandia, ante la construcción de su quinta central, fue radical. Se consiguió de manera absolutamente distinta a como se hace aquí. Se produjeron una serie de informes por organismos cualificados, se sometieron al conocimiento de sectores vinculados y se distribuyó entre la población. En una palabra, se generó *conocimiento*, no *opinión*, en el estricto sentido de la palabra. A través de ese conocimiento evolucionó la opinión pública y se pudo construir esa quinta central. Tanto es así que, a pesar de que la central va muy retrasada, por otros temas de desarrollo del proyecto, ya se está considerando la sexta como una opción que el país asume, porque han llegado a entender cuáles son las condiciones y las ventajas del mix energético a través del conocimiento.

¿Qué nos está pasando a nosotros? Aquí no se está dando una información transmitida desde un organismo que se considere responsable de transmitirla. Se viven más enfrentamientos políticos que análisis objetivos del problema desde una perspectiva técnica.

En un país en el que las instituciones no cuentan, están a un lado y son utilizadas de una manera marginal, se vive en permanente convulsión, sujetos a los grupos de presión, al ejercicio tajante del poder, al que tiene la última palabra, temas absolutamente inadmisibles para una sociedad. En esa situación hemos vivido el proceso de Garoña. Y eso hay que denunciarlo. No se puede admitir que cuando se plantea algo que va a afectar tan sustantivamente al bienestar y al futuro de la sociedad, no se haga por los procedimientos lógicos, a través de quien tiene el conocimiento, quien es capaz de opinar y que esa información es la que llegue al público. Y que el público llegue a constituirse en un grupo de opinión consciente, ponderada, no sujeto a la opinión de un partido u otro.

Esperamos que la energía nuclear coja el camino que le corresponde. |●|

## CAPÍTULO II

# Gestión y transporte de residuos. Transmutación y reprocesado

### 1. Reproceso del combustible nuclear

**Autor:** Luis Gutiérrez Jodra

**Institución:** Real Academia de Ciencias

**Cargo:** Vicepresidente

### 2. Amplificador de energía

**Autor:** Juan Antonio Rubio

**Empresa:** CIEMAT

**Cargo:** Director General

### 3. Gestión y transporte de residuos radioactivos

**Autor:** Jorge Lang Lenton

**Institución:** ENRESA

**Cargo:** Director de la División de Administración de ENRESA



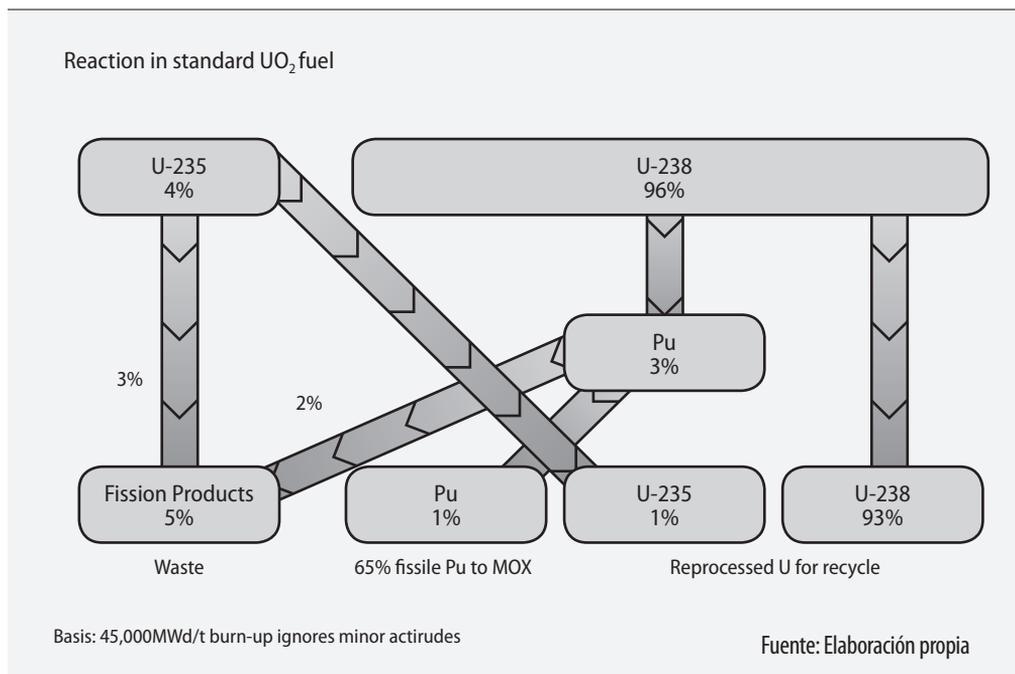
# Reproceso del combustible nuclear

LUIS GUTIÉRREZ JODRA – REAL ACADEMIA DE CIENCIAS

## Irradiación de elementos combustibles

El combustible de un reactor nuclear de agua a presión o en ebullición contiene aproximadamente un 4% de U-235 y un 96% de U-238. Después de su utilización, la composición del combustible es sensiblemente diferente como se indica esquemáticamente en la **[Figura 1]**.

**[Figura 1] Composición porcentual de un elemento combustible antes y después de ser irradiado**



La evolución del combustible durante la irradiación en un reactor se puede describir simplificada de la siguiente forma:

- El contenido de U-235, que inicialmente era del 4%, se reduce al 1%.
- El 3% de U-235 se ha convertido en productos de fisión (PF).
- El 3% del U-238 se ha convertido fundamentalmente en Pu y en menor cantidad en otros elementos transuránicos, *actínidos*, AM.
- Parte del Pu se ha fisionado aumentando el inventario de productos de fisión.
- Finalmente queda un 1% de Pu.

Estos porcentajes son aproximados y dependen del grado de quemado del combustible. Inicialmente era de 33.000 GW/día por tonelada y hoy estamos alrededor de 45.000, con la intención de llegar a 50.000 GW/día por tonelada.

La radiotoxicidad del elemento combustible dependerá de los porcentajes de los elementos indicados anteriormente.

## Tratamiento de los combustibles irradiados

Los combustibles irradiados contienen una gran cantidad de radionucléidos que los hacen residuos de alta actividad. Para disminuir su riesgo existen varias alternativas: la primera es confinarlos en recintos perfectamente estudiados que reduzcan el riesgo a niveles admisibles, *ciclo abierto*; la segunda consiste en separar los elementos que presentan mayor radiotoxicidad o no son susceptibles de ser utilizados posteriormente del conjunto de los isótopos contenidos en el elemento combustible irradiado: *ciclo cerrado*.

### ¿Qué es ciclo abierto y cerrado en el caso del combustible nuclear?

El *ciclo abierto* es aquél en el que los elementos combustibles irradiados se almacenan, primero en piscinas situadas en los mismos reactores durante un periodo de tiempo más o menos largo para que disminuya su radioactividad. Posteriormente pasan a almacenamientos temporales centralizados y finalmente a confinamientos geológicos profundos. Esta opción es técnicamente posible y su coste puede ser de 1.000 \$/kg de combustible irradiado, dependiendo del tipo de yacimiento. La radiotoxicidad de estos elementos combustibles está asociada fundamentalmente con los elementos transuránicos (Pu, Np, Am, Cm...) y todos tienen periodos de desintegración muy largos, de cientos de miles de años. Sin embargo, estos elementos son insolubles en formaciones geológicas profundas.

Los productos de fisión reducen su radiotoxicidad después de algún tiempo ya que, salvo algunos (Cs-135, Tc-99, I-129...) que tienen una vida más larga, los restantes tienen una vida relativamente corta.

En el *ciclo cerrado*, que podría llamarse “semicerrado”, porque nunca ha llegado a ser cerrado por completo, se separa la mayor fracción posible de U y de Pu (99%) por procesos en soluciones acuosas ácidas, PUREX, o pirometalúrgicos, para su utilización como combustible y quedan los actínidos menores junto con los productos de fisión que se vitrifican para su almacenamiento posterior. A diferencia del proceso PUREX clásico, en el que se separa sólo el uranio y el plutonio, se puede separar también el neptunio, el tecnecio y el yodo. El yodo, por ser volátil, el tecnecio porque es de los mejores desde el punto de vista de la transmutación posible y el neptunio, porque como todos los actínidos es transformable por neutrones rápidos fácilmente. En los desarrollos actuales, procesos DIAMEX, SANEX, ALINA... que se realizan en países que tienen ciclos cerrados para el tratamiento de los combustibles irradiados (Francia, Reino Unido, Japón, India, Rusia y China) se intenta separar estos actínidos menores de los productos de fisión antes de la vitrificación, porque algunos de estos elementos podrían reducir la estabilidad de los productos vitrificados a largo plazo. La transmutación podría eliminar este riesgo.

Siguiendo los procesos de extracción con disolventes, han funcionado muy bien los calixamenes para la separación de cesio. De hecho, el cesio radioactivo que en la actualidad se utiliza en el mundo está sacado mediante los calixamenes y los productos de fisión.

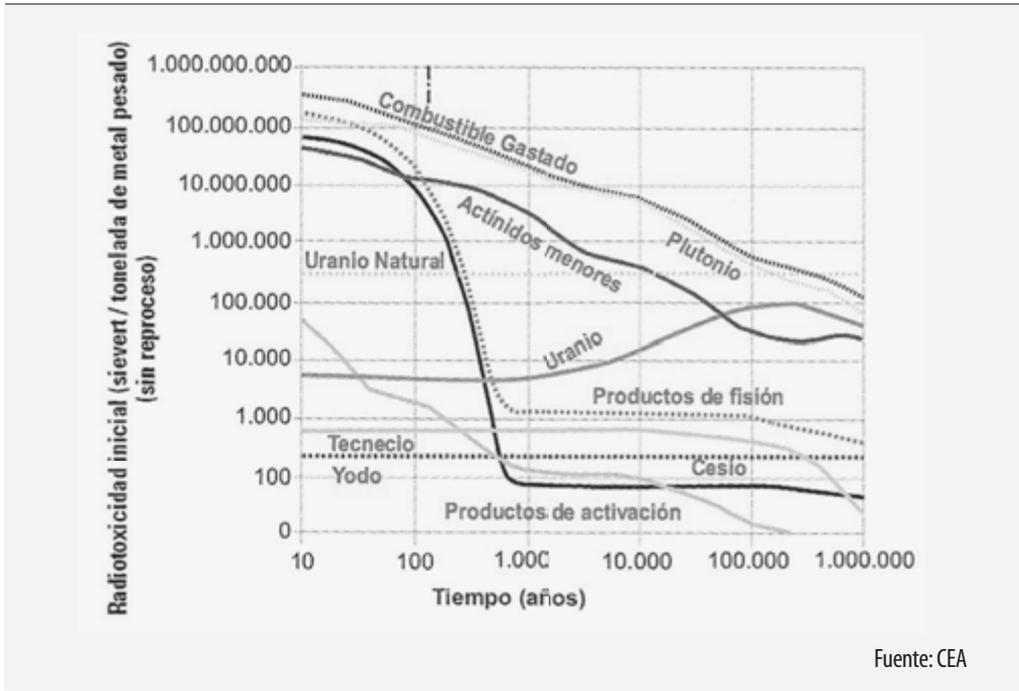
La recuperación del U-235 y del Pu-239 representa un 25% del coste del enriquecimiento del U-235. Algunos países europeos (Francia, Alemania, Suiza y Bélgica) utilizan combustibles MOX con mezclas de uranio y plutonio procedentes de los ciclos cerrados en los reactores de agua ligera. De forma genérica se suelen repartir los elementos MOX en los núcleos de los reactores, con los elementos de  $UO_2$  en una proporción de 1/3 a 2/3.

## Radiotoxicidad de los elementos combustibles irradiados

En la **[Figura 2]** se representa la evolución de la radiotoxicidad de las distintas fracciones de un combustible irradiado sin reprocesar. La curva más oscura indica la radiotoxicidad de los productos de fisión, que se puede apreciar como disminuye sensiblemente con el tiempo. Los valores correspondientes al combustible irradiado evolucionan superpuestos con el Pu. Los actínidos menores mantienen su actividad durante un periodo de tiempo largo, comparable al del Pu.

En la **[Figura 2]** se ha superpuesto la radiotoxicidad del uranio natural, como base de comparación, en 1 millón de sievert por tonelada o un sievert por gramo. Conviene saber que hay isótopos estables en gran cantidad, que se forman en el proceso de fisión y son lantánidos básicamente.

**[Figura 2] Evolución con el tiempo de la radiotoxicidad de los combustibles irradiados y de los diferentes grupos de elementos presentes en los mismos**



También señalar la radioactividad de los productos de fisión. Cuando se dice que es necesario un almacenamiento para los elementos combustibles irradiados del orden de un millón de años, hay que tener presente que esta exigencia es debida básicamente al plutonio y todos los demás actínidos, si no se reprocessa el combustible gastado. En cambio, si se hace el reprocesso, que es la línea señalada como cesio (tanto el cesio 135 como el estroncio 90 tienen entre 28 y 30 años de periodo de semidesintegración), al cabo de las 10 unidades de periodo de semidesintegración, su radiotoxicidad es despreciable. Luego podemos decir que la radioactividad debida a los productos de fisión, al cabo de 300 años, llega a ser como la del uranio natural que se encuentra en la naturaleza.

La radiotoxicidad de los elementos MOX por su irradiación en los reactores térmicos no disminuye a pesar de la desaparición aproximada de un 33% del Pu, porque aparecen más actínidos menores que no han sido destruidos por captura de neutrones térmicos, ya que su sección eficaz de fisión para estos neutrones es muy pequeña. Sería necesaria la irradiación del elemento MOX en un reactor rápido. La radiotoxicidad de un elemento MOX irradiado es 8 veces superior a la de un elemento de  $UO_2$ .

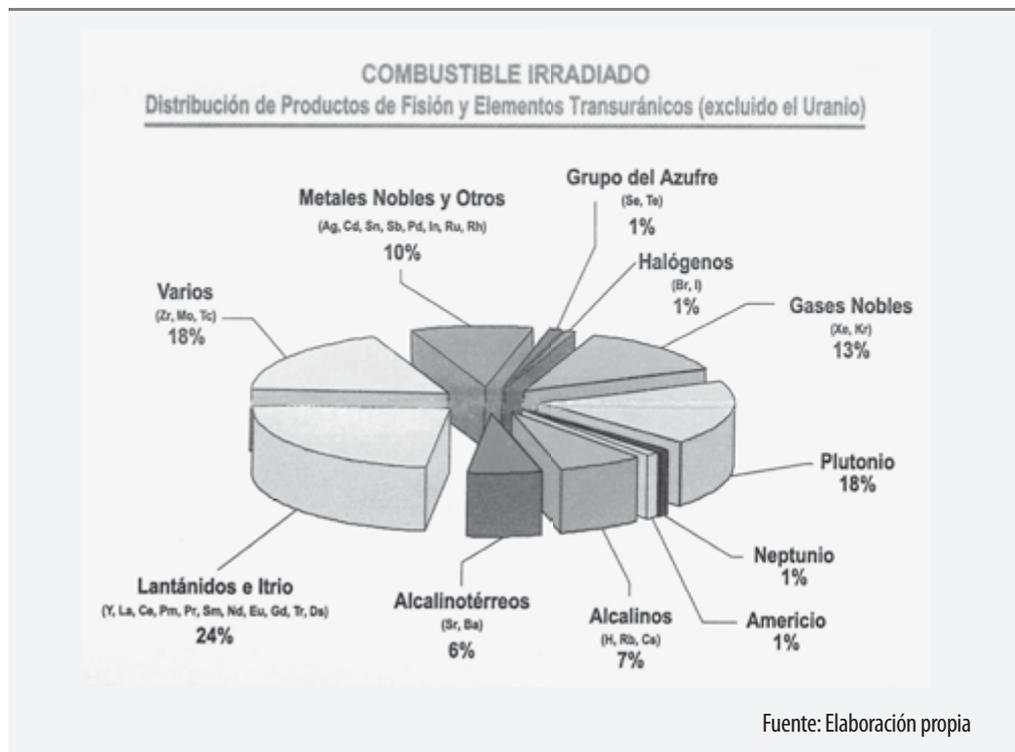
Una cuestión muy importante, esencial para entender el problema de los residuos, es que, como se ve en la curva superior, la radiotoxicidad del combustible gastado

coincide prácticamente en su recorrido a lo largo del tiempo con la del plutonio. De manera que el plutonio constituye una gran parte de la radiotoxicidad de los elementos combustibles usados.

Resumiendo, se puede decir que *el concepto de “larga vida” asociado a los elementos combustibles irradiados es debido a los actínidos*. Si se quitan el plutonio y los actínidos menores, la radioactividad final solamente se debe a los productos de fisión de vida larga, alguno de los cuales son transmutables. Por consiguiente, la cantidad que queda es prácticamente desechable. Viene a ser del orden de menos de medio kilo por tonelada de uranio manejado. Luego, lo que dura miles de años, si se reprocesa, son los productos de fisión. El resto de todos los productos transuránicos que quedan en el combustible gastado además pueden cumplir la función de producir energía, si se reprocesa el combustible, ya que en su mayor parte son fisionables. Y además en este caso, se reduce la cantidad, el volumen, la masa, y por tanto, el dinero que cuesta conservar los residuos radioactivos en una gran cantidad.

La **[Figura 3]** esquematiza la distribución de productos de fisión y transuránicos, que se producen en el proceso de fisión del U-235.

**[Figura 3] Distribución porcentual de los diferentes grupos de elementos que se producen en la fisión del U-235**



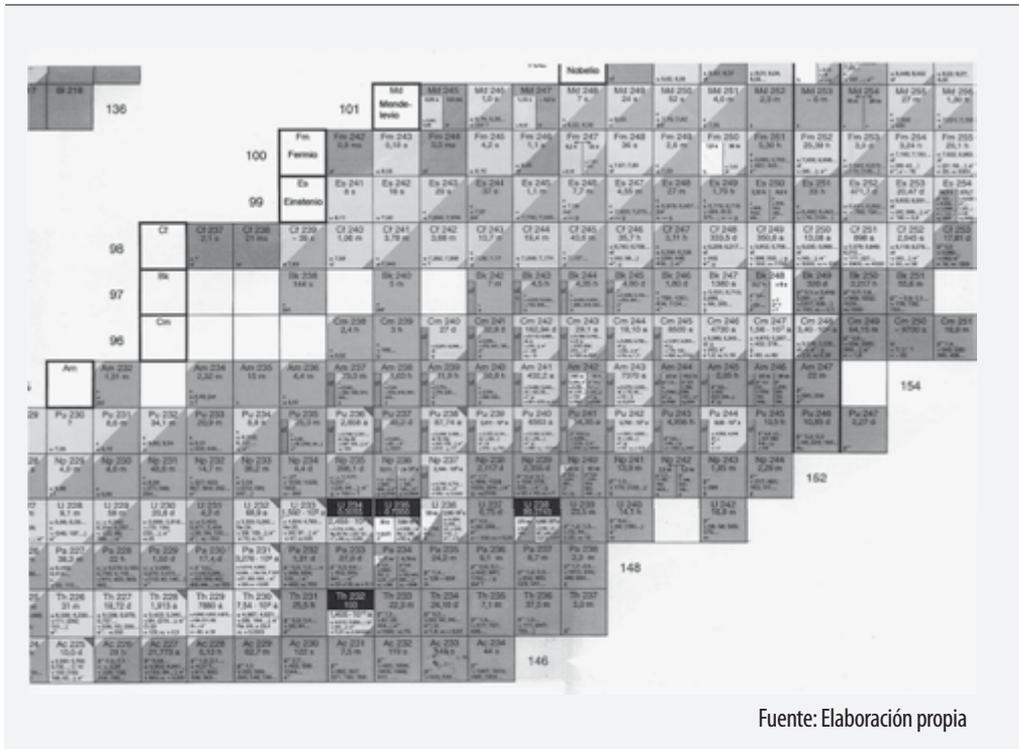
## Naturaleza de la radiotoxicidad

La radiotoxicidad de los elementos procedentes de la fisión del U-235 se debe a la emisión de partículas  $\alpha$ , partículas  $\beta^-$  y  $\beta^+$  y radiación  $\gamma$ . Los productos de fisión son todos emisores beta cuyo poder de penetración es relativamente pequeño, unos centímetros de hierro o de aluminio bastan para detener este tipo de radiación. Estos productos de fisión desaparecen al cabo de 300 años. En cualquier caso se deben confinar los productos que producen emisiones beta y por consiguiente así no ofrecen peligro. Los que duran mucho, el 99% o más, son emisores alfa, partículas que tienen un poder de penetración muy pequeño: la radiactividad se para con una hoja de papel. Únicamente ofrecen riesgo si se incorporan a la cadena biológica por ingestión o inhalación.

En la **[Figura 4]** se reproduce una parte de una carta de isótopos en la que aparecen todos los transuránicos. Se obtienen en las fisiones, tanto del uranio 235 como del uranio 238 o del plutonio 239 y cubren una gran parte de la parte superior de la carta de isótopos.

Todos los elementos de la diagonal inferior son emisores beta y la zona central son emisores de positrones, de captura de electrones dentro del núcleo.

**[Figura 4] Reproducción de la carta de isótopos correspondiente a la zona de los elementos pesados**



Fuente: Elaboración propia

## Utilización de los combustibles MOX

La utilización de combustibles MOX tiene que estar precedida de un estudio de los problemas que pueden suponer la existencia de nuevos elementos, los actínidos menores, que se pueden fisurar, capturar neutrones y de los que hay que conocer cuáles son sus secciones eficaces de fisión, de captura y de cualquier otro tipo de fenómeno que sea importante para el isótopo considerado y su influencia en el comportamiento del reactor.

Esto ahora no es un problema porque se conocen las propiedades físicas. La NEA tiene una sección dentro de su actuación que es dar a conocer los datos. Y a partir de los datos se puede modelar el comportamiento del reactor con estos elementos. Por tanto, la generación de neutrones, cuando se manejan este tipo de isótopos, es una de las cosas que limita extraordinariamente la utilización de plutonio más de una o dos veces, porque cada vez se generan más isótopos superiores del plutonio. Es necesario tener cuidado.

En el combustible MOX se dice que el 55% es fisurable. Eso significa que el plutonio, a medida que se va utilizando en reactores térmicos, se degrada desde el punto de vista de características fisurables, y es necesario entonces reforzarlo. De hecho, el combustible MOX ordinario parte o tiene que partir de un 7% para compensar esa pérdida que se traduce en que se generan isótopos que absorben neutrones. Esto es otra cosa que hay que tener en cuenta.

En el caso del acuerdo ruso-americano se ha obviado esto en la transformación de 34 toneladas de plutonio proveniente de armas del programa de defensa de Rusia para ser transformado en combustible MOX en Estados Unidos o bajo la supervisión de la Organización Internacional de Energía Atómica. Como se trata de un plutonio que es por encima del 90% de plutonio 239, no se necesita partir de un 7% sino de un 5% solamente.

En la actualidad hay muchos reactores funcionando, 41 utilizando el MOX y unos 70 en el futuro. En Australia se ha puesto en marcha el procesamiento “sinrock”, que consiste en la transformación de los residuos radioactivos en un compuesto que es esencialmente una roca, que se ha formado en la tierra durante miles de años. Es mucho mejor que el boro-silicato o que cualquier otro compuesto.

Si se quieren utilizar los reactores para la eliminación o transmutación de residuos, tiene que ser en reactores rápidos. Los únicos que están interesados en los reactores rápidos actualmente son los rusos, que tienen uno en funcionamiento, el BN600, y otro en construcción, el BN800. Y los indios, que son admirables por ser el único país del mundo que no ha dudado en seguir la misma línea de actuación desde que fue Baba el primer presidente de la Comisión Atómica India, que fue la utilización

de tres etapas de los recursos: primero, sacar uranio de donde hubiera, segundo, sacar plutonio y con el plutonio, construir reactores rápidos para utilizar el torio y el uranio 233. Los indios están construyendo en este momento el reactor rápido más avanzado, más que los rusos, que tiene combustibles mejores basados en los últimos adelantos que han conseguido en la investigación y que empezará a funcionar aproximadamente dentro de tres años.

## Conclusiones

Como idea para concluir: el aprovechamiento de la energía nuclear en este momento contribuye a la limpieza de la litosfera porque está transformando todos los elementos naturales que tienen millones y millones de años, en residuos que como máximo van a estar limpios de radioactividad en 300 años. Por consiguiente, no quedará más que una proporción pequeña de todo lo que se formó en la Tierra como resultado de la gran explosión de la supernova. Por tanto, todos los elementos superiores al hierro se han formado en esa explosión, cuando había exceso de neutrones. La Tierra puede considerarse un gran depósito de combustibles nucleares que sirven para nuestra utilización actual, produciendo energía.

Y otra idea es que España necesita, no ya el reproceso, sino la ilusión de seguir con algún proceso, desde el punto de vista energético, que nos dé alas para poder volar en el futuro de la competencia en Europa y que España pueda ser un país adelantado y no un país retrógrado que mira a los progresos que trae la investigación y los conocimientos como un gran peligro. Recuerda las ideas que en la Revolución Francesa alertaban contra los peligros de la libertad, mala porque cortaba alas. Lo que corta alas es la escasez de ideas para el futuro de nuestro país. |•|

# Amplificador de energía

JUAN ANTONIO RUBIO – CIEMAT

## Introducción

El proceso de transmutación y el reprocesado son temas que se conocen poco. Menos aún, el concepto de amplificador de energía que resulta ser la base de todos los procesos de transmutación.

## Tendencias a medio y largo plazo: sostenibilidad

La energía nuclear ha “pagado el pecado” de su origen. Nació en la Gran Guerra y es el fenómeno físico que ha tenido más rápida aplicación de toda la historia. Einstein avisó al presidente Roosevelt de que había que preparar un ingenio nuclear porque si no, iba a caer en manos del Eje. Se adhirieron a su idea una buena parte de los físicos destacados que vinieron de Europa.

Es curioso que Alemania no lo hiciera, porque tenía físicos que lo podían hacer. Heisenberg lo sabía hacer, y no lo hizo. Queda para el silencio de la historia el porqué, probablemente, no quiso hacerlo.

Estados Unidos realizó el proyecto Manhattan y desarrolló la bomba atómica. Los propios físicos avisaron que esto tenía que tener un control y no utilizarse. Tristemente se utilizó. Esa es la situación que la energía atómica ha ido pagando posteriormente.

Luego aparecieron los primeros reactores. Aparte de los prototipos, algunos fueron reactores dedicados al transporte submarino. Luego la generación II, que es la que en España existe. Y a partir de ahí nació la generación III, una mejora desde el punto de vista de la seguridad de la generación II, tanto en agua a presión como en agua a ebullición, o de grafito gas.

Ahora estamos en la generación IV, diseños con todavía mayores medidas de seguridad y mejoras en el rendimiento. En Europa tenemos el EPR, diseñado por ABEBA con Westinghouse y el AP1000, que es de Westinghouse. Son de potencias distintas, pero son reactores que introducen nuevos conceptos de seguridad parecidos. General Electric tiene un nuevo concepto de reactor de ebullición. Éste se está imponiendo menos.

A partir de ahí, lo que se prevé es la *gestión especializada de residuos*, y la estabilización del inventario de plutonio. Hay en este momento 300.000 toneladas de combustible irradiado en el mundo que contienen unas 300 ó 400 toneladas de plutonio. Es una cantidad enorme, teniendo en cuenta que con 5 kilos se hace una bomba. Hay que disminuir este inventario que, por otra parte, tiene un gran valor energético. En Francia, por ejemplo, se están haciendo los combustibles MOX, de uranio y plutonio, para reducir el plutonio, pero no otros productos de fisión como el americio, del que generan cantidades relativamente grandes.

El objetivo es llegar a la generación IV. Es una generación que se piensa que sea económicamente viable, con mayor seguridad, porque tiene elementos que permiten una seguridad intrínseca en la refrigeración e incluso pudiera ser que no se pudiese automantener la reacción en cadena, reactor subcrítico, que es lo mismo que un reactor parado. Es un margen de seguridad inmenso. Además, en ciertos tipos se quieren eliminar actínidos menores o el propio plutonio.

Los reactores de generación IV, por tanto, generan residuos mínimos al eliminar el plutonio y alguno de los actínidos menores. Eso los hace también sostenibles, en el sentido de que se utilizará la totalidad del uranio y además se puede convertir el torio, que es un elemento fértil en uranio 233 fisible lo mismo que el uranio 235. Se calcula que habría combustible para 20.000 ó 30.000 años. La distinción entre “sostenible” y este número de años es meramente académica. Hoy por hoy la energía nuclear no es estrictamente sostenible. Hay recursos para unos pocos centenares de años porque utilizamos sólo el isótopo 235. La sostenibilidad se conseguiría utilizando todo el uranio natural o transmutando el torio y reduciendo al mínimo los residuos radioactivos.

Ese es el objetivo que ahora se está desarrollando, un poco más lentamente de lo deseado.

## Situación actual de los residuos

El tema de los residuos nucleares es lo que más preocupa actualmente. ¿Por qué existe esta preocupación ciudadana? Hay que reconocer que está en la mayoría de los países, no todos, en donde la energía nuclear no está ligada a la defensa, o en

donde no se piensa que vaya a estar. Porque hay países que quieren que esté ligada a la defensa. Es aquí donde hay más oposición.

La preocupación fundamental son los residuos de media y alta actividad y la seguridad de las propias centrales no puedan liberarlos al exterior. Hoy por hoy los riesgos son probabilísticamente mínimos. Se puede decir que en Europa la seguridad es máxima. En España sin duda no hay problemas, los reactores son de uranio enriquecido y no especialmente dedicados a la producción de plutonio. Además, no existe el riesgo ni la intención de la proliferación.

Los residuos de media y baja actividad están perfectamente controlados en España, emblemáticamente controlados por ENRESA “hijo” de la Junta de Energía Nuclear, en El Cabril (**[Figura 1]**).

Los fragmentos de fisión son muy radioactivos, pero una parte tienen una vida media relativamente pequeña. Por ejemplo, en los residuos existen grandes cantidades de estroncio y cesio que tienen 30 años de vida media y en 100 años, estas cantidades de estroncio y cesio han disminuido drásticamente. Al cabo de 200 años ya no quedan.

Existen otros residuos de alta actividad y larga vida que están dentro del combustible irradiado. Son a los que por el momento tenemos que buscar una solución: *el almacenamiento temporal centralizado* que existe en otros países y es perfectamente seguro y sin ningún problema. ENRESA tiene una propuesta ya aprobada en el parlamento

**[Figura 1] Almacenamiento de RMMB de ENRESA (El Cabril)**



Fuente: Elaboración propia

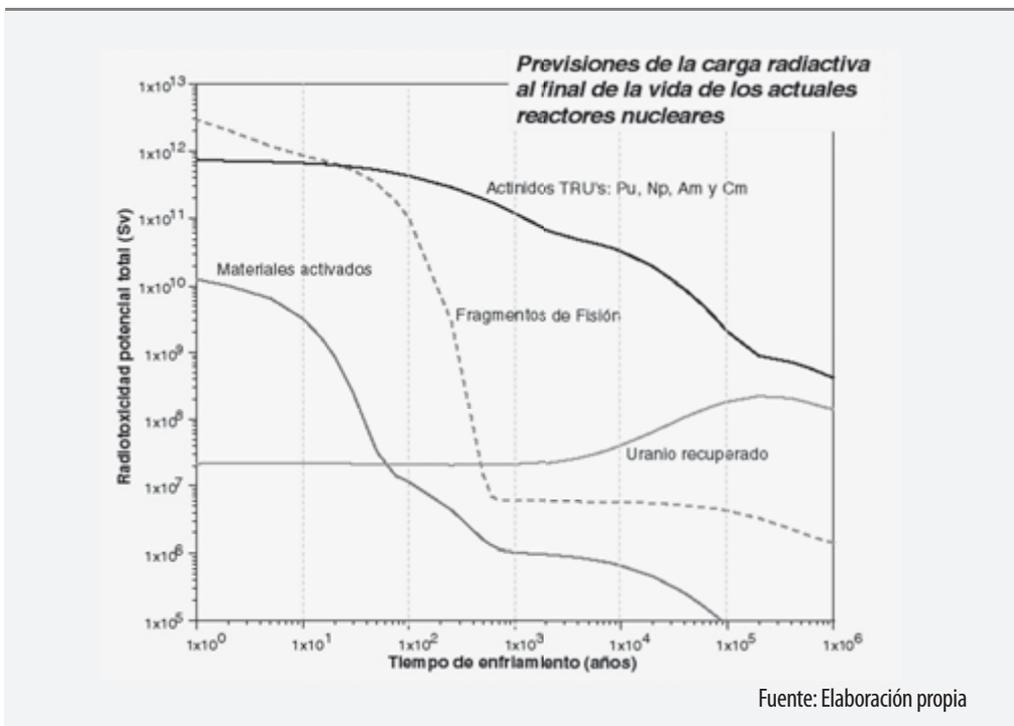
y en principio, por el Gobierno. Falta que se apruebe la ubicación. Una comisión interministerial está estudiando los sitios de su posible ubicación, con presiones de muchos tipos. Hay que buscar un emplazamiento en donde la gente, perfectamente informada, pueda ser consciente de los remotos problemas que pudieran ocurrir y de las ventajas de su ubicación. Hoy por hoy, estos residuos se almacenan en piscinas, que aunque se agranden un poco, sólo puede plantearse de forma temporal.

Los residuos de larga vida son un 5% de todo el combustible. Entre ellos están los actínidos transuránicos, elementos fisionables, menos del 1% del combustible. El resto son fragmentos de activación o uranio. Los actínidos transuránicos son los responsables de la mayor parte de la toxicidad a partir de unos 60 ó 70 años. Los materiales activados suponen una parte ínfima de la radiotoxicidad, que van a quedar en los productos de fisión (**Figura 2**).

## Sistemas asistidos por acelerador (ADS)

Los ADS están contribuyendo ya de manera práctica y conceptual a la eliminación de residuos y la transmutación de residuos. Utilizan un acelerador que envía un haz

**[Figura 2] Radiotoxicidad de los elementos constituyentes de los combustibles irradiados**



de protones. Ese haz de protones origina una cascada de neutrones por espalación en un blanco de material pesado. Esa cascada de *espalación* tiene del orden de 30 veces más neutrones que protones: por cada protón de 1 giga electrón voltio del haz se generan 30 neutrones. Luego el número de neutrones se puede multiplicar en un conjunto subcrítico de material fisible. La criticidad que está admitida en un almacenamiento de material fisible es de 0,95. Esa criticidad es muy baja y tiene una seguridad intrínseca.

Como ahora los aceleradores alcanzan intensidades del orden de 10 miliamperios, vienen a ser unos  $10^{16}$  protones por segundo. Que si se multiplican primero por un factor 30 de generación de neutrones y después por otro factor del orden de 20, tenemos un factor entre 500 y 1.000, y se tienen aproximadamente  $10^{19}$  neutrones por segundo. En un minuto podríamos eliminar por fisión 1 gramo de plutonio, de americio o transmutar otro elemento.

En Ginebra desarrollamos un sistema llamado *amplificador de energía* que es el sistema que está previsto que funcione como sistema de transmutación de residuos. Es un conjunto subcrítico con todas sus condiciones, utilizando un blanco de espalación de plomo-bismuto que permite una refrigeración pasiva por convección natural. El problema es que el bismuto genera polonio, pero es limpiable, si no es utilizable luego. Se podría utilizar solamente plomo, pero su punto de fusión es mucho más alto, 400°C frente a los 120°C del plomo-bismuto.

Para evitar residuos de alta actividad hay que ir a reactores *rápidos*. Tienen el inconveniente de que las secciones eficaces de fisión son dos órdenes de magnitud más baja pero se pueden alcanzar flujos neutrónicos que son dos órdenes de magnitud mayor. Las secciones eficaces de todos los actínidos para los neutrones térmicos son prácticamente nulas, pero no para neutrones rápidos, aquí son significativas. Con lo cual en los reactores rápidos se pueden ir eliminando prácticamente todos los actínidos, por fisión o por transmutación y luego fisión. Con los reactores térmicos es imposible.

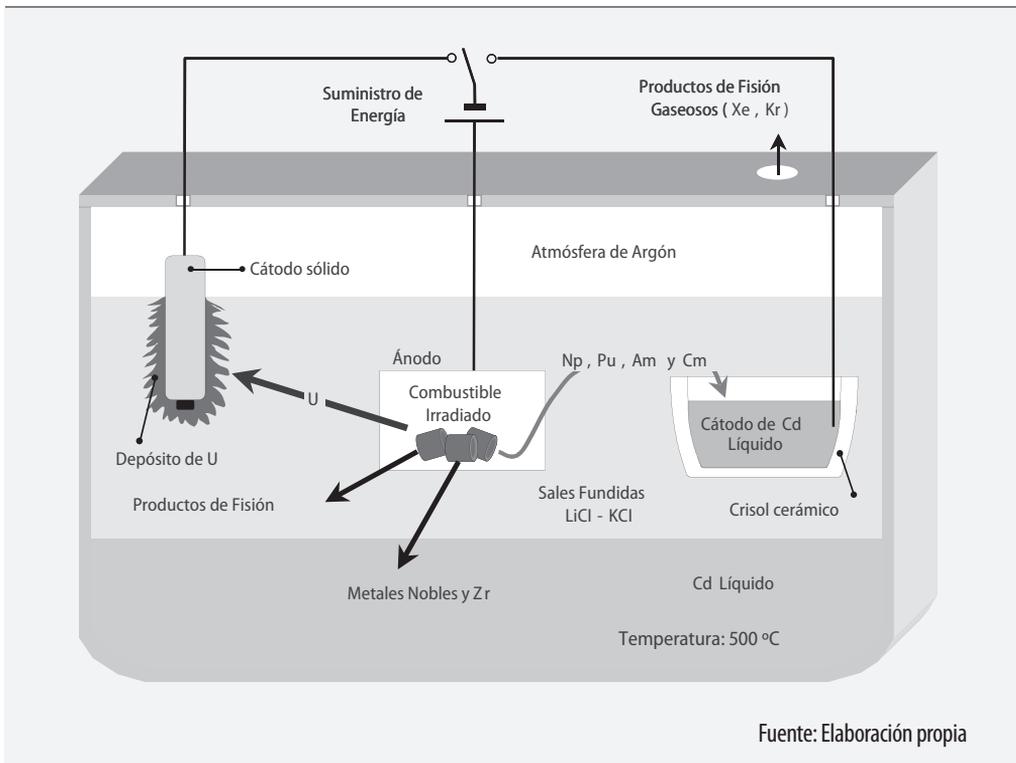
## Métodos de separación

La transmutación no es posible si no separamos previamente lo que queremos transmutar. Ya hay métodos de separación, como el *hidrometalúrgico* que permite separaciones del 99,9% de cualquiera de los actínidos menores y de los fragmentos de fisión. Se prevé que se va a llegar al 99,99% en aproximadamente 10 años. Utilizan baterías de contactores centrífugos, un medio ácido y un medio orgánico y unas moléculas especiales, que captan los isótopos que se quiere y se los llevan. Después hay que regenerar el combustible o el material que queremos. La regeneración es también con un medio ácido mucho más diluido.

Otro método de separación es el *pirometalúrgico*, que conviene más pero es más incipiente. Consiste en un baño de sales fundidas donde hay unos electrodos, siendo uno de ellos el combustible radiado (**[Figura 3]**).

Diferentes potenciales originan que haya distintos isótopos que van a los diferentes electrodos, en particular a los ánodos. El uranio se separa del plutonio, el americio y el curio y los elementos de fisión quedan en el baño de sales en el que está embebido el proceso de electrólisis a una temperatura de 500°C. Se ha comprobado en el laboratorio que se alcanzan grados de separación del 99,9%. Si somos capaces de dejar sólo el 1 por 10.000 de los residuos es un éxito, que vamos a conseguir en 10 años. Porque tenemos 300.000 toneladas de combustible, pero los residuos de larga vida son poco más del 1%, 3.000 toneladas. Si conseguimos eliminar 10.000 veces esta cantidad, las 3.000 toneladas se quedan en 300 kg, que a densidad 10 son 30 litros de residuos en todo el mundo. Esos 30 litros de residuos con todos los actínidos mezclados hacen factible el *almacenamiento geológico profundo* públicamente sin problemas. Esta es la radiotoxicidad en ciclo abierto y en ciclo cerrado, con transmutación del 99%. Si es con el 99,99% disminuye la radiotoxicidad en cuatro órdenes de magnitud, y no es prácticamente nada.

**[Figura 3] Esquema del proceso de separación pirometalúrgica de elementos procedentes de los combustibles irradiados**



## Investigación para transmutación

En los experimentos para demostrar que esto funcionaba utilizamos un conjunto subcrítico de la Universidad Politécnica de Madrid. Tres toneladas y media de uranio que estaban allí, procedentes de la Junta de Energía Nuclear. Las barras de uranio natural se sumergían en agua ligera. Los conjuntos de uranio natural y de agua ligera nunca son críticos. Se les puso una fuente de espalación, sometiéndolo a un haz de muy baja intensidad, se quería medir que se producía una espalación suficiente y se utilizaron varios blancos, uno de ellos de plomo. El resultado de la operación fue que, efectivamente, se tuvo una ganancia energética elevada. Tuvimos que medirlo minuciosamente, desarrollando unos termómetros que medían temperaturas menores de 1° Kelvin, con precisiones de 0,1°K. Estos termómetros tenían 2 piecitas de uranio y una de plomo de referencia. Se sometieron al flujo de neutrones, perfectamente aislado. Las piecitas de uranio se calentaban en las fisiones, pero las de plomo no. Esos saltos de temperatura permitieron medir la potencia en los diferentes puntos del conjunto subcrítico y al final se pudo medir la ganancia energética. Resultó ser de un factor 30. Esta ganancia tenía dos componentes: una parte de la ganancia debida a la criticidad y otra parte la debida a la espalación.

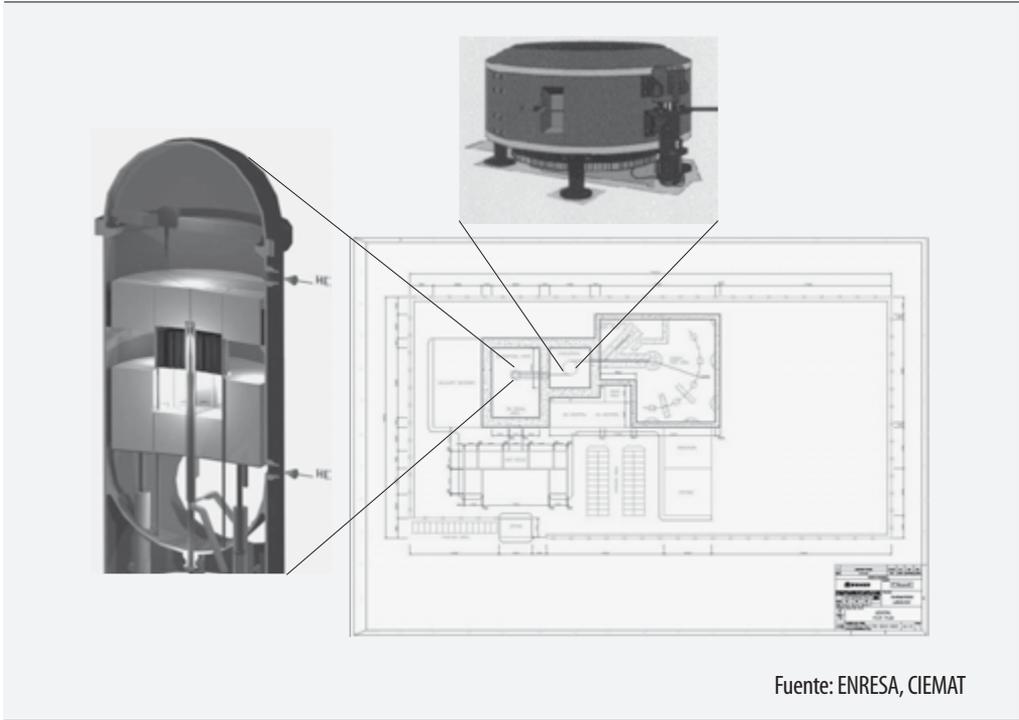
Otro experimento fue de transmutación. Se hizo incidir un haz de partículas sobre un bloque de plomo, pero un haz de protones con un poco más de energía que en el experimento anterior y se midió cuántas trasmutaciones de tecnecio y de yodo se producían, que son fragmentos de fisión de larga vida. El tecnecio pasa a rutenio y el yodo a xenon, en tiempos mínimos.

En Europa hay todo un programa de transmutación que se llama EUROTRANS, con 70 empresas, algunas españolas, dedicado, por una parte, a datos nucleares, porque las secciones eficaces en la región de resonancia no se conocen bien y son fundamentales para estudiar la transmutación. Datos también de materiales, incluso de la fuente de espalación y datos de combustibles. Los más adecuados según hemos comprobado son los combustibles inertes, como el molibdeno y con el tiempo quizás la transmutación del torio en U 233 pueda ser utilizado también de combustible, como prevé el amplificador de energía y, desde luego, se utiliza también todo el uranio, que se recupera y genera energía.

El CIEMAT tiene un proyecto con ENRESA de construir un transmutador y que podría instalarse en España (**Figura 4**).

Es un transmutador con toda la tecnología de la IV generación en pequeña escala. Está previsto que una de las cosas para las que va a servir es para formación científica y universitaria con envergadura internacional, porque se está perdiendo el conocimiento nuclear. Hay que formar jóvenes y motivarlos para que les interese y esta es una manera, con investigación puntera.

**[Figura 4] Esquema de un transmutador proyectado conjuntamente por ENRESA y el CIEMAT**



## La energía nuclear hoy

La energía nuclear hoy está renaciendo en el mundo, principalmente en Asia; también está creciendo en Estados Unidos y en Europa. Además, en Estados Unidos, 48 centrales nucleares han sido autorizadas a operar hasta 60 años y otras 5 centrales han sido autorizadas a extender su vida en Europa. Ésta última ha decidido que para el año 2020, la fracción nucleoelectrica global será la misma (30%), 20% en España y 20% en el mundo. Tenemos instalados hoy en España 8 GW, mientras que hay 15GW de eólica y solamente se produce el 8%.

En España tenemos buenos actores: ENRESA, ENUSA, CSN, Ingenierías, Universidades y CIEMAT.

## Reactores rápidos de generación IV

Reactores rápidos que hoy se están experimentando se refrigeran por líquidos pesados como plomo fundido o sodio fundido o son refrigerados por gas helio. El sodio es un material de manipulación difícil mientras que el plomo confina los neutrones,

no salen del reactor o del conjunto subcrítico. El gas es también mejor que el sodio. Lo curioso es que todos los estudios van por el sodio, ya que Francia como potencia nuclear europea, tiene una gran experiencia en la manipulación del sodio.

## Conclusiones

Como conclusión, la energía nuclear es hoy una fuente que contribuye masivamente al consumo de electricidad.

Tiene ventajas respecto de otras fuentes pero tiene también oposición popular. Se cuenta con ella en todos los estudios de prospectiva energética. La Unión Europea pretende mantener la potencia nuclear y tiene un 30%, frente al 20% que tiene España. El mundo, un 20% como España.

En su versión actual no es sostenible y eso hay que corregirlo. |•|



# Gestión y transporte de residuos radioactivos

JORGE LANG LENTONG – ENRESA

## Introducción

Se dice con frecuencia que el problema en el desarrollo de la energía nuclear son los residuos radioactivos y siempre se apunta como un problema sin resolver, irresoluble. Y que por lo tanto, ¿para qué se va a seguir desarrollando la energía nuclear si esto no tiene solución? Eso es absolutamente incierto e incorrecto.

Algunos datos para empezar:

En España se han gestionado más de 30.000 metros cúbicos de residuos radioactivos, recorriendo más de 3 millones de kilómetros en transportes por carretera, con cero accidentes y cero incidentes. Se ha desmantelado una gran central nuclear a nivel 2, desmantelando más del 80% de la central, con cero accidentes y cero incidentes. Se ha desmantelado también una gran fábrica de uranio, se han retirado residuos de prácticamente todos los hospitales y se está terminando de desmantelar una serie de instalaciones del CIEMAT, incluyendo el reactor JEN 1, con resultados de cero accidentes y cero incidentes.

La gestión de los residuos se está haciendo en España de una manera correcta sin ningún tipo de problemas y se ha ampliado la capacidad de almacenamiento del combustible irradiado en las centrales nucleares, bien mediante el cambio de bastidores o utilizando contenedores como solución alternativa. De manera que se han cubierto las necesidades existentes hasta el presente en el almacenamiento temporal de combustible gastado. Y todo esto, de nuevo, sin ningún tipo de incidentes.

La gestión de los residuos está reglada, regulada por un documento público que es el “Plan General de Residuos Radioactivos”. Lo aprueba el consejo de ministros cada 4 años. El documento público está en la página web de ENRESA e incluye el inventario de residuos, los residuos que quedan por producir, las actividades que se

han realizado hasta la fecha, las que se están realizando y las que quedan por realizar; qué se está haciendo en otros países, cuál debe ser la política de I+D, cuáles son las necesidades financieras para abordar el coste de los residuos presentes y futuros... Todo está en un documento, planificado.

## Definición y clasificación de los residuos radioactivos

Un residuo radiactivo es cualquier material o producto de desecho, para el cual no está previsto ningún uso, que contiene o está contaminado con radionucléidos en concentraciones o niveles de actividad superiores a los establecidos por las autoridades competentes de acuerdo con las normas internacionales.

*Los residuos se dividen en dos grandes grupos: los de baja y media actividad, con un semiperiodo inferior a 30 años y que no generan calor y los de alta actividad, con un semiperiodo de desintegración superior a 30 años y que sí generan calor.*

El combustible irradiado o gastado no es un residuo radiactivo en sí mismo a menos que se defina como tal. Si este combustible no va a tener ningún uso posterior sí puede definirse como residuo, pero potencialmente es una considerable fuente energética de futuro. Se tienen que estudiar bien sus posibilidades de utilización.

Los residuos radioactivos no sólo se generan en las centrales nucleares, sino también en muchas instalaciones radioactivas. ENRESA tiene firmados casi 850 contratos con otras tantas instalaciones radioactivas en España. Muchas de ellas son hospitales que utilizan radioisótopos o fuentes radioactivas bien para diagnóstico o para terapia. Y ENRESA retira regularmente esos residuos.

## Gestión de residuos en España

Una central puede operar tanto tiempo como permitan sus autorizaciones o hasta que el propietario decida cerrarla. En un escenario de referencia de operación en España de 40 años, el volumen de residuos que se van a generar es de 170.000 m<sup>3</sup> de residuos de media y baja actividad. Para hacerse una idea de cuánto es eso, equivale al estadio Santiago Bernabéu lleno hasta la mitad de la grada. Es todo el volumen de baja y media actividad que se va a producir en España, muy poco volumen en comparación con otros residuos industriales y peligrosos.

De estos 170.000 m<sup>3</sup>, casi las tres cuartas partes corresponderían al desmantelamiento de las centrales, cuando tenga lugar en su día. Y de éstos, la mayor parte, en torno a un 90%, van a ser residuos de muy baja actividad. Los residuos de operación de baja y media actividad serían una cuarta parte de la cantidad restante.

En lo que se refiere a residuos de alta actividad, considerando el combustible como residuo, aunque propiamente no lo es, se van a generar 6.700 toneladas. Hay otras cantidades menores de residuos que se generaron en el reprocesamiento del combustible de Vandellós I en el pasado y que están pendientes de su retorno a España. Está previsto que llegue a partir del 2011, aunque es imposible esa fecha por no estar disponible el almacenamiento temporal centralizado. Vendrán tan pronto como sea posible y se negociará que el retorno tenga lugar sin un coste demasiado elevado.

La **[Figura 1]** es una imagen del interior de un bidón de residuos de media y baja actividad. El bidón contiene piezas contaminadas inmovilizadas en hormigón. Es importante tener en cuenta que las dos terceras partes del volumen de los residuos se componen de hormigón y sólo una tercera parte de residuos.

La instalación donde se tratan los residuos de media y baja actividad de El Cabril se puso en marcha en 1992 (**[Figura 2]**).

Es una instalación moderna, bastante informatizada y que se utiliza en el mundo como un ejemplo a seguir de cómo tratar los residuos de media y baja actividad. Consiste en la interposición de una serie de barreras sucesivas, puesto que la gestión

**[Figura 1]** Imagen del interior de un bidón de residuos de media y baja actividad



Fuente: Elaboración propia

**[Figura 2] Vista aérea de la instalación de El Cabril**



Fuente: Elaboración propia

de residuos no es otra cosa que blindar el material radioactivo y neutralizar la radiación durante todo el tiempo necesario hasta que dicha radioactividad esté por debajo de unos valores que permitan su desclasificación como material radioactivo.

Esta instalación es muy robusta. Es una especie de mole de hormigón en cuyo interior hay unas cantidades bastante pequeñas de residuos radioactivos.

La carga y el transporte están regulados por directivas europeas que se aplican en España. En la **[Figura 3]** se ve cómo se descarga un camión en el interior de El Cabril, depositando los bidones en unos contenedores cúbicos que a su vez se introducen en unas celdas.

## Descripción del elemento combustible gastado

El combustible está constituido por un conjunto de barras metálicas en cuyo interior están las pastillas de uranio, en donde se realiza la reacción nuclear que produce el calor y la energía eléctrica al final del proceso. Cuando se descarga el combustible existe todavía un 96% de uranio, la mayor parte uranio 238, que no es fisionable, una parte del cual se habrá convertido en plutonio y además pequeñas cantidades, en torno al 1% de uranio 235. El resto son productos de fisión que provienen precisamente de la fisión del uranio 235 y de parte del plutonio que se ha ido también fisionando

**[Figura 3] Carga y transporte de residuos radioactivos**

Fuente: Elaboración propia

durante el funcionamiento del reactor. Y luego están los incómodos actínidos minoritarios que son fundamentalmente neptunio, americio y curio, isótopos emisores de radiaciones alfa de larga vida, con los que se está trabajando e investigando de cara a su transmutación en el futuro.

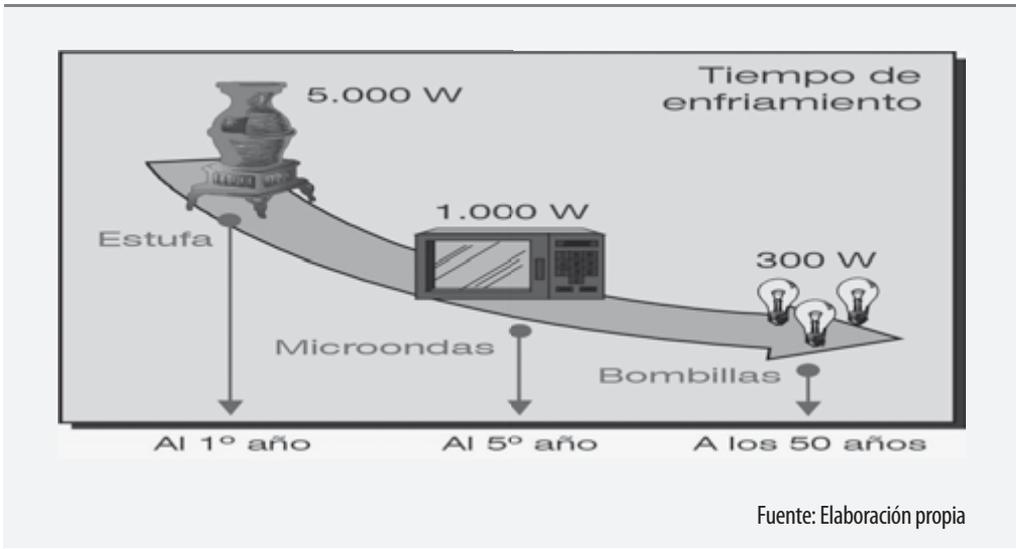
Un aspecto importante del combustible gastado es que produce mucho calor.

Primero se descarga a una piscina, en las centrales nucleares. En todas las centrales nucleares se ha hecho un cambio de bastidores para poder acomodar más volumen de combustible. Al cabo de un año, un elemento combustible tiene una potencia térmica en torno a unos 5.000 W. Y a medida que va decreciendo su radioactividad su manifestación energética va disminuyendo. Y al cabo de unos 50 años es como tres bombillas (**Figura 4**).

Pero en algún caso, como en Trillo, se ha tenido además que poner en marcha un almacenamiento temporal en contenedores. En José Cabrera, una central que se va a empezar a desmantelar en otoño, se ha tenido que acomodar el combustible en contenedores metálicos revestidos de hormigón.

Es importante un almacenamiento temporal de este combustible antes de su gestión posterior. El proyecto más importante que tiene ENRESA en este momento es el *Almacenamiento Temporal Centralizado*. Este concepto se aplica prácticamente en todos los países europeos que tienen energía nuclear. Es importante porque va a permitir en primer lugar seguir enfriando el combustible y segundo, desarrollar y participar en los desarrollos del tratamiento del combustible gastado en tecnologías más avanzadas como la separación y transmutación. Está previsto para 60 años y estará rodeado de un parque tecnológico. Se está a la espera de que a corto plazo

**[Figura 4] Disminución de la potencia de un elemento combustible irradiado con el tiempo**



salga la convocatoria para el concurso público de emplazamientos voluntarios para acoger esta instalación.

## Transporte del combustible gastado

El transporte de combustible gastado está sumamente regulado. Se han transportado en el mundo más de 30 millones de kilómetros de combustible gastado utilizando los contenedores homologados. Estos contenedores sufren una cantidad de pruebas previas de todo tipo.

Tienen que soportar condiciones de accidente. Son embalajes especialmente diseñados para el contenido a transportar que necesitan autorización por parte del organismo regulador y con requisitos específicos de diseño.

## Clausura de instalaciones

Vandellós I: El desmantelamiento parcial (Nivel 2) se ha finalizado (1998-2003). El desmantelamiento total (Nivel 3) se hará tras un período de espera de 25 años.

En el pasado ya se han desmantelado centrales. En el resto de las centrales nucleares se estima el desmantelamiento total (Nivel 3) a efectos de cálculo y planificación, tres años después de la parada de cada reactor.

El cierre de José Cabrera empezó en abril de 2006. Otras instalaciones nucleares en procesos similares:

- FUA y La Haba: finalizadas y en fase de vigilancia.
- Rehabilitación de antiguas minas de uranio en Andalucía y Extremadura (1997-2000) y en Salamanca (2006-2007).
- Saélices el Chico (2001-2008): finalizada a falta de tratamiento aguas.
- CIEMAT (PIMIC) (2001-2009).

## Investigación y desarrollo. 5º Plan I+D 2004-2009

Hay un programa de I+D muy importante. Se hace con una serie de universidades y centros de investigación. Se tiene la capacitación para poder formar grupos importantes para investigación y desarrollo en temas de residuos.

## Financiación

En lo que se refiere a la financiación del coste, en torno a unos 15.000 millones (en valor actual), se hace mediante recaudación a los productores, grandes y pequeños, formando un fondo. Dentro de poco, esa recaudación va a pasar a realizarse mediante una tasa en lugar de mediante facturación. Además de desarrollar los aspectos técnicos propios de la gestión de residuos radiactivos, ENRESA gestiona y administra los recursos económicos que se van obteniendo para la financiación de los cometidos para los que fue constituida. La Orden Ministerial del 12 de mayo de 1983 y su desarrollo en los Planes Generales de Residuos Radiactivos, establece que los costes de las actividades derivadas de la gestión de residuos radiactivos serán financiados por los generadores de dichos residuos.

Con el fin de preservar a las generaciones futuras de los importantes costes de la gestión de los residuos radiactivos y garantizar a toda la sociedad el mantenimiento del medio ambiente, se estableció un sistema específico de prefinanciación.

Este sistema asegura los medios económicos necesarios para la gestión de los residuos radiactivos manteniendo un sistema independiente de los presupuestos del Estado.

En el modelo de financiación se produce un importante desfase temporal entre la captación de los recursos y su desembolso. Por este motivo se constituye el “Fondo para la financiación de las actividades del Plan General de Residuos Radiactivos”, formado mayoritariamente por una cartera de inversiones financieras de carácter transitorio. Sobre esta cartera y sobre los rendimientos que de ella se obtengan,

recae la responsabilidad de costear la gestión de los residuos radiactivos. El carácter eminentemente social de la misma, la magnitud de los proyectos que tendrá que soportar y el escenario temporal en que esto sucederá le imprimen unas peculiaridades que la diferencian de otras carteras de inversión.

La trascendencia del destino de los recursos de la cartera de inversiones financieras transitorias obliga a que las inversiones que se realicen combinen tres principios básicos: seguridad, rentabilidad y liquidez. Estos tres principios rectores están fijados en la ley desde la creación de ENRESA, en el año 1984 y en los sucesivos marcos regulatorios que han dirigido las actividades de la entidad.

El marco regulatorio vigente establece un órgano colegiado externo, el Comité de Seguimiento y Control, para la supervisión, control y calificación de las inversiones transitorias relativas a la gestión financiera del Fondo. Es un órgano interministerial formado por el Secretario de Estado de Energía, el Interventor General de la Administración del Estado, el Subsecretario de Ciencia e Innovación, el Director General del Tesoro, el Director General de Política Energética y Minas y el Subdirector General de Energía Nuclear. Periódicamente se reúne para controlar la aplicación de los tres principios rectores de la gestión, el principio de rentabilidad, el de seguridad y el de liquidez.

Asimismo, y por considerar la gestión financiera del Fondo de indudable trascendencia dentro del modelo de gestión de los residuos radiactivos, el Manual de Organización de ENRESA contempla un órgano colegiado interno, el Comité de Inversiones, cuya labor principal es analizar y definir la política de gestión financiera de la Cartera de Inversiones Financieras Transitorias.

En España podemos decir que tenemos una gestión de los residuos muy bien definida y con unas perspectivas muy favorables para que la gestión de los residuos se haga de una manera sostenible en el tiempo y continúe siendo un ejemplo. |●|

## CAPÍTULO III

### Centrales actuales: gestión de vida útil

#### 1. Gestión de vida útil

**Autor:** Isabel Mellado

**Institución:** Consejo de Seguridad Nuclear

**Cargo:** Directora Técnica del Comité de Seguridad Nuclear

#### 2. Contribución de la inspección en servicio a la gestión de la vida útil de las centrales nucleares

**Autor:** Margarita Herranz Soler

**Institución:** UPV/EHU- SEPR

**Cargo:** Catedrática

#### 3. Contribución de la inspección en servicio en la gestión de la vida útil de las centrales nucleares

**Autor:** Juan Ortega

**Empresa:** Tecnatom

**Cargo:** Director de Desarrollo de negocio

#### 4. Operación a largo plazo de las centrales nucleares españolas: renovación de la autorización de explotación de Santa María de Garoña

**Autor:** Martín Regaño Ureta

**Institución:** Nuclenor

**Cargo:** Director General



# Gestión de vida útil

ISABEL MELLADO – CSN

## Introducción

El Consejo de Seguridad Nuclear manifiesta su total independencia respecto al debate nuclear: nucleares sí o no. En la sociedad cada uno tiene un papel y tiene derecho a defender sus intereses. El papel y la responsabilidad del Consejo es ser absolutamente neutral e independiente en este debate y ocuparse exclusivamente de asegurar que las centrales funcionen de manera segura. Por tanto, la posición del CSN no puede ser otra que una absoluta independencia.

Nos centraremos en dos aspectos principalmente. En primer lugar, los aspectos legales y administrativos relativos a la vida útil y a la extensión de la vida de la central. Y en segundo lugar, las distintas fases, estudios o análisis que se hacen por parte del titular y que el Consejo analiza y revisa para la renovación de las autorizaciones de explotación. Los hitos son: *la revisión periódica de la seguridad, los análisis de la normativa exigible a centrales más modernas y la gestión del envejecimiento.*

## La legislación española

En la legislación española no hay ninguna previsión respecto a la extensión de vida de las centrales nucleares, ni define los conceptos de vida de diseño o vida útil.

La regulación de la energía nuclear contenida en la Ley de Energía Nuclear es de 1964, con algunas modificaciones posteriores. Pero no se establece nada con respecto a este asunto. Lo único que se dice es que las instalaciones nucleares tienen que tener las autorizaciones correspondientes de explotación para su funcionamiento y que tienen que estar debidamente reguladas.

Para eso se publicó el “Reglamento para Instalaciones Nucleares y Radioactivas”, que fija el tipo de autorizaciones que tienen que tener. Se habla también de las licencias del personal que opera en las centrales nucleares. Pero sobre la extensión de vida, la longitud de la vida de estas instalaciones no hay ningún requisito, ni sobre la duración de las autorizaciones. *Lo único que se requiere tanto en la Ley como luego se desarrolla en el Reglamento, es que las instalaciones funcionen de manera segura, cumpliendo las normas adecuadas para ello.*

El documento administrativo en el que se fija la duración de la vida es la propia autorización de explotación, que es una orden ministerial. Estamos moviéndonos en ese terreno. Y cada autorización establece su propio periodo de validez.

Las autorizaciones que establece el “Reglamento para instalaciones nucleares y radiactivas” son:

- Autorización Previa o de emplazamiento,
- Autorización de construcción,
- Autorización de puesta en marcha,
- Autorización de explotación, que es la fase de las centrales que están ahora en operación,
- Autorización para modificaciones de diseño, cuando los titulares pueden por propia iniciativa modificar la instalación, siempre que no afecte de manera importante a los requisitos de seguridad,
- Autorización de desmantelamiento y clausura.

Para el tema de la vida útil nos centraremos en la autorización de explotación. La práctica actual es hacer las renovaciones por diez años, pero no ha sido siempre así. Inicialmente se daban los permisos para cada *ciclo de operación*. Los ciclos de operación de las centrales son variables. Se llama ciclo al tiempo transcurrido entre dos paradas de recarga cuando la central paraba para renovar el combustible. Hay centrales que operan en ciclos de 12 meses, 18 y hasta de 24 meses.

En un principio, cada vez que había que parar para recargar el combustible, se le daba una autorización para continuar la operación después de la recarga. Era bastante complejo de gestionar en la práctica porque antes de la recarga se hacen muchas actividades y había que analizar muchos temas. Pero tampoco tenía una razón de seguridad. Las características básicas de seguridad eran las mismas, y están establecidas en el Estudio de Seguridad.

El Consejo tiene un sistema permanente de control mediante su proceso de inspección y tiene la facultad de poder emitir instrucciones directamente en cualquier momento para cualquier provisión nueva de seguridad o cualquier requisito nuevo que se tuviera que exigir o bien parar la instalación si se considera que las condiciones no

son las adecuadas. Por tanto, se fue alargando este período eliminando la necesidad de que estuviera ligada al arranque. Se fue haciendo en períodos de dos a tres años, hasta que en la primera mitad de los 90, el Consejo decidió, siguiendo una práctica internacional promovida por el Organismo Internacional de Energía Atómica de las Naciones Unidas, realizar *revisiones periódicas de la seguridad*. Y el período que se aconsejaba era de plazos largos, superiores a un ciclo de operación. Era de varios ciclos de operación para que se pudiera ver la variación del comportamiento de la planta y las tendencias que pudiera haber en el funcionamiento de la planta y sus componentes y equipos.

En España, el Consejo adoptó la decisión de establecer que las plantas españolas hicieran revisiones periódicas de la seguridad. Esta práctica no se hace en Estados Unidos, que es el país de origen de la tecnología que ha inspirado toda nuestra normativa y nuestra regulación nuclear. Con motivo de esa revisión periódica, se pensó que podía ser el momento adecuado para renovar las autoridades de explotación. Exigir una revisión importante desde el punto de vista de la seguridad, y conceder una autorización por periodos de 10 años.

Recientemente hemos completado un ciclo completo, de revisión periódica de todas las centrales. Ahora estamos iniciando otro nuevo periodo con la *Normativa de Aplicación Condicionada*, “NAC”, título, que parece no reflejar lo que queremos decir. Es preferible hablar del “Análisis de Nueva Normativa” emitida por el CSN, aplicando la normativa más actual a las centrales en operación y del programa de *Gestión de Envejecimiento*, para una central que no va a entrar en un periodo más allá de los 40 años. Deben presentar y revisar su programa de envejecimiento que demuestre que no aparecen fenómenos degradatorios que pudieran impedir a los componentes, sistemas, o equipos de seguridad, cumplir la función para la que están diseñados. Si en el periodo siguiente se va superar la vida de diseño, hay que hacer unos análisis adicionales.

La documentación necesaria para la solicitud de la renovación debe presentarse un año antes del vencimiento del plazo de la autorización vigente o tres en caso de superarse los 40 años, por la envergadura de los análisis a revisar. Si es una revisión de 10 años dentro de esos 40 años, el propietario tiene que presentar la solicitud y los análisis justificativos en el plazo de un año antes de la fecha de caducidad de la autorización. Y tres en el otro caso, aunque se crea una cláusula que establece que un año antes se analizará toda la documentación, entendiendo que tres años es un periodo muy largo en el que todavía pueden producirse anomalías.

## Revisión periódica de la seguridad

La revisión periódica de la seguridad que estableció el CSN siguiendo las recomendaciones de la OIEA tiene varios objetivos:

- El primero, analizar el comportamiento de las instalaciones en periodos largos para identificar posibles deficiencias y tendencias en el comportamiento (si va habiendo alguna degradación en los componentes o equipos, tanto materiales como humanos, o falta de recursos económicos, etc.).
- Comprobar que la sistemática que tiene establecido el titular y los procesos para los análisis de los temas de seguridad son adecuados. Que no hay deficiencias en la instalación.
- Analizar la situación de la instalación frente a los avances tecnológicos y la nueva normativa.
- Revisar los planes de gestión del envejecimiento.
- Valorar los programas de mejora en curso y establecer nuevos programas de mejora. Uno de los elementos fundamentales de la “cultura” de la seguridad, y de las recomendaciones de las buenas prácticas internacionales en este terreno es la mejora continua y lo que llamamos el Programa de Acciones Correctoras.

Los capítulos en los que se divide la “Revisión Periódica de la Seguridad” incluyen revisión de:

- Experiencia operativa y las tendencias de la instalación. Si tenemos problemas en una central, ¿dónde los tenemos? El análisis de las causas es muy importante no sólo para corregir la deficiencia en el equipo material que ha fallado y ha dado lugar a una parada no programada o a una deficiencia en un comportamiento, sino también las causas organizativas, raíces que han dado lugar a que se haya producido sin haber sido previamente advertido. Es una fuente de aprendizaje y de mejora.
- Comportamiento de los sistemas y componentes.
- Análisis de nueva normativa. Hasta ahora se venía haciendo sólo de la normativa que es exigible a esa central, que es la base de diseño (en USA, por un respeto al explotador, no se permite legalmente ampliar la legislación más allá de lo que en principio se le pidió). La nueva normativa es la que en la actualidad se le exigiría a una central similar.
- Modificaciones de diseño y control de configuración. Cuando se aprueba una central pueden estar sus sistemas de seguridad en perfectas condiciones y con un diseño perfectamente acorde a la normativa. Pero por problemas de componentes o por experiencia operativa, o por optimización del funcionamiento, una instalación está viva, y se le hacen múltiples modificaciones de diseño para su mejora y optimización. Hay que llevar un control riguroso y análisis de estas modificaciones desde el punto de vista de la seguridad.
- Análisis probabilista de seguridad. El diseño y la construcción de las centrales se hizo con lo que llamamos los “análisis deterministas de seguridad”. Este análisis lleva a considerar que se produce el peor fallo único que pueda afectar a la planta. Se supone que hay un “transitorio”, un fallo de carga, una parada total... Todas las situaciones que se plantean suponen un posible problema. Se plantea la hipótesis de que falla un componente, el más crítico, para poner la peor situación y que el diseño sea perfecto. Estos análisis, muy sólidos, han llevado al diseño y la operación de las centrales como

se construyen ahora. Pero se ha visto que la realidad es mucho más compleja, que una instalación tiene muchos componentes y que pueden suceder varios pequeños fallos en componentes no tan relevantes, o errores humanos, que interaccionen. Estos análisis probabilistas modelan la instalación, dándole una probabilidad de fallo a cada componente y a las acciones humanas. Y se identifican vulnerabilidades para modificar diseños y procedimientos, así como mejoras en el entrenamiento del personal.

- Programas de mejora de la seguridad.

## **Análisis de nueva normativa requerida por el CSN (NAC)**

El concepto de “Normativa de Aplicación Condicionada” es la normativa nueva que se aplica a las centrales de nueva creación, pero no a las centrales que están en funcionamiento. En Consejo se planteó que podría ser beneficioso que, aunque no se exigiera su aplicación al 100% y en muchos casos no fuera posible por el propio diseño, la central analizaría esa nueva normativa y vería qué mejoras significativas supondría su aplicación. Se pide identificación de las desviaciones y propuestas de mejora para ganar seguridad en el marco de estos nuevos conceptos. En la renovación de la autorización se establecen condiciones y plazos para la implantación de las mejoras. Es un tema que tenemos en la vida real, no sólo en las centrales, por ejemplo en el mundo del automóvil. Todos los coches salen de fábrica con cinturón de seguridad en todos los asientos. Al aplicar la nueva norma, no se pudo obligar a los coches antiguos a cumplirlo porque es imposible. En las centrales estamos aplicando retrospectivamente la nueva normativa, pero sin exigir el cumplimiento literal, analizándola.

¿Quién determina qué conceptos se aplican o no? No podíamos traspasar las responsabilidades a los propietarios. El equipo técnico del Consejo conoce muy bien la normativa nueva, y selecciona aquella normativa más utilizable y beneficiosa para aplicarla. De este modo, no le exige al propietario un consumo extra de recursos para el análisis de la normativa.

Luego el Consejo selecciona la nueva normativa, le requiere al titular que la analice aunque no exige el cumplimiento total, y el titular, un año antes de que venza el permiso, presenta al Consejo su análisis y sus propuestas de implantación de mejoras. El Consejo las evalúa y emite las condiciones que estima oportunas. Si las propuestas del titular son suficientes, las aplica. Y si estima que no es suficiente lo requiere.

## **Gestión del envejecimiento y gestión de análisis ligados a vida de diseño definida**

Los componentes pueden sufrir una pérdida de propiedades por el tiempo o el uso. Pueden aparecer fenómenos degradatorios que pueden reducir la capacidad para

desempeñar la función de seguridad. Hay que establecer mecanismos de vigilancia y control para prevenir que esto ocurra.

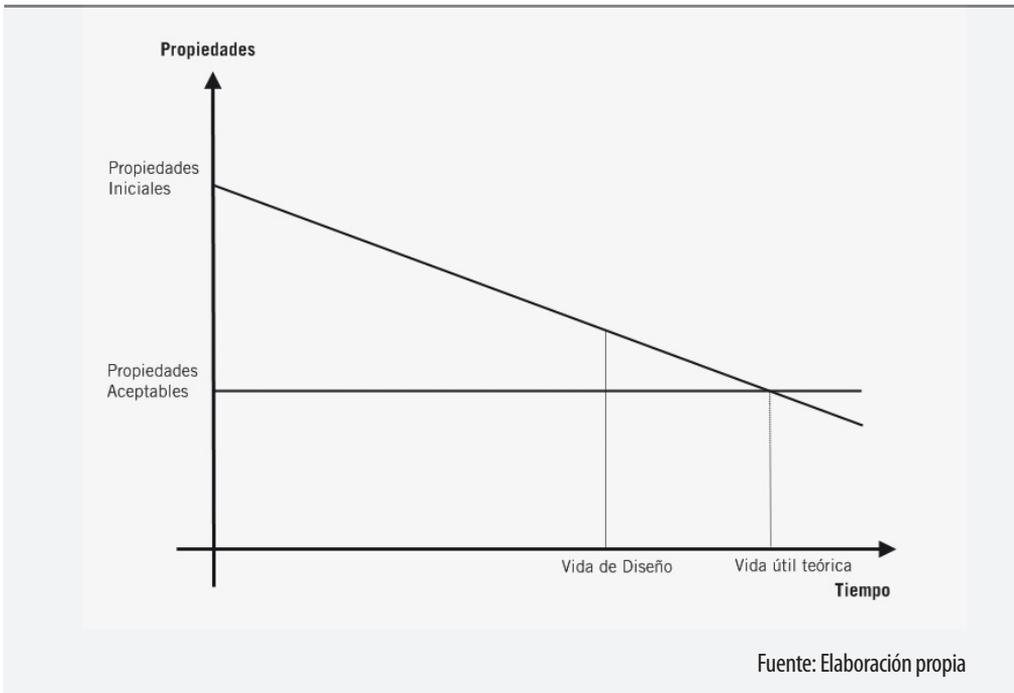
En caso de que se vaya a superar la vida de diseño definida se deben realizar análisis adicionales que se han estudiado para una situación determinada.

La **[Figura 1]** representa una gráfica muy utilizada en nuestra terminología. El diseño inicial de una planta está hecho con unos márgenes conservadores con respecto a la vida útil de los equipos. Un componente puede tener una duración mayor incluso de la vida útil teórica estimada. Se definen los siguientes conceptos:

- Vida de diseño: duración mínima prevista inicialmente, durante la que se asegura que los componentes de difícil sustitución mantienen sus propiedades estructurales y funcionales por encima del mínimo requerido y un margen conservador.
- Vida útil teórica: tiempo previsto inicialmente desde la entrada en operación de un componente hasta que sus propiedades estructurales o funcionales alcancen el límite requerido.

El diseño está hecho partiendo de unos materiales, suponiendo unas condiciones de operación, y una duración prevista determinada. Por ejemplo, para calcular la

**[Figura 1] Gráfica Propiedades – Tiempo**



resistencia estructural de un componente, uno de los elementos que hay que calcular es su fatiga térmica. Y en la fatiga influyen el número de ciclados térmicos a que ese componente está sometido y la fluencia neutrónica en el caso de materiales de la vasija del reactor. Los análisis son realizados con unas hipótesis de vida de diseño definidas. Para cada componente se plantean sus propias hipótesis. En uno es fatiga térmica, otros periodos de irradiación neutrónica sobre las paredes de la vasija, la fragilización de los aceros de las paredes, etc.

Luego se plantea una vida de diseño supuesta inicialmente para las centrales nucleares actuales de 40 años (32 años efectivos a plena potencia, es decir, máximo bombardeo neutrónico al 100% de potencia, y quitando los periodos de enfriamiento, carga y descarga, etc.).

Todo esto es para aquellos componentes en los que influye el tiempo y las condiciones de operación. Para otro tipo de componentes no se estima la vida mediante cálculos o análisis, sino mediante ensayos de que el componente mantiene su capacidad de funcionamiento durante un periodo determinado en determinadas condiciones ambientales similares a las de operación (humedad, radiación, presión, temperatura). Suele aplicarse a componentes eléctricos y de instrumentación y control. Con esos ensayos de envejecimiento se hacen unos certificados sobre cuál es la vida cualificada del componente.

Cuando llega la explotación hay que vigilar las condiciones reales en que se encuentra el equipo. Hay que comparar qué es lo que ha ocurrido realmente con las condiciones de diseño. Verificar que las condiciones de funcionamiento son las que se plantearon, y según eso determinar si se ha agotado la vida útil o no. Lo habitual es que las condiciones de análisis sean más duras, y que la vida no se haya agotado, y se estime la vida útil remanente.

La vida útil real se define como el tiempo durante el que un componente mantiene sus propiedades dentro de los límites requeridos. Puede ser mayor que la vida útil teórica si las condiciones de operación son menos severas, o menor si aparecen nuevos fenómenos degradatorios.

El *programa de gestión de envejecimiento* que se les exige a los titulares de una central está compuesto de distintos temas, y está centrado fundamentalmente en componentes pasivos e incluye:

- Identificación de componentes que tiene la instalación.
- Identificación de mecanismos de degradación para cada tipo de componentes.
- Evaluación de prácticas de vigilancia, control y mantenimiento, ver si son suficientes para todos los mecanismos de degradación que pueden afectar a algún componente.

- Revisión de los análisis realizados con hipótesis de vida de diseño definidas para poder hacer la extensión de vida.

Los componentes activos se vigilan a través de los programas de mantenimiento.

## Conclusiones

No existe un tiempo máximo de funcionamiento definido en la legislación o en la normativa española para las centrales nucleares.

El CSN ha establecido, siguiendo la normativa del país de origen del proyecto y otras prácticas internacionales, un proceso sistemático para la renovación de las autorizaciones de explotación, incluyendo la extensión del periodo inicial considerado en el diseño. Esto no tiene que ver con las decisiones que se puedan tomar en otros ámbitos, siendo el Consejo independiente de ellos. Puede haber responsabilidades de tipo político, social, etc. El Consejo no entra.

El proceso incluye una actualización de las condiciones de seguridad mediante el análisis de la normativa aplicable a las centrales más modernas. |•|

# Contribución de la inspección en servicio a la gestión de la vida útil de las centrales nucleares

MARGARITA HERRANZA SOLER – UPV/EHU-SEPR

## Impacto ambiental

En España existe un sistema de vigilancia radiológica ambiental cuyo detalle se puede encontrar en la información suministrada por los documentos editados por el Consejo de Seguridad Nuclear cuyo título es “Programa de vigilancia radiológica: Resultados... del año...”. Son unos documentos que el Consejo publica periódicamente y que están accesibles en su web.

Todos los seres humanos vivimos sometidos a lo que llamamos el fondo radiológico. Este fondo tiene dos orígenes: el natural, debido a los radionucleidos naturales presentes en la corteza terrestre y en la atmósfera y un origen artificial en función de aquellas actividades humanas que han contribuido a concentrar ciertos radionucleidos, de origen natural en algunas zonas, o de origen artificial, en ciertos segmentos ambientales donde inicialmente no estaban.

De esta situación surge la necesidad de la vigilancia radiológica ambiental, cuyos objetivos básicos son:

- Establecer los niveles de fondo, vigilar su evolución, si es que existe, para determinar las causas que han motivado su aumento.
- Estimar el riesgo radiológico potencial para la población de ese fondo y de sus posibles incrementos.
- Determinar, en su caso, la necesidad de tomar precauciones o aplicar medidas correctoras.

## Marco legal

El marco legal existente en España para la realización de esta vigilancia radiológica está perfectamente definido en la Ley 33/2007, que modifica las funciones

asignadas al Consejo de Seguridad Nuclear cuando se creó en 1980. Esas funciones son:

- Evaluar el impacto radiológico ambiental de las instalaciones nucleares y radiactivas y de las actividades que impliquen el uso de radiaciones ionizantes.
- Controlar y vigilar la calidad radiológica del medioambiente de todo el territorio nacional, en cumplimiento de las obligaciones internacionales del Estado español en la materia, y sin perjuicio de las competencias que las distintas Administraciones públicas tengan atribuidas.
- Colaborar con las autoridades competentes en materia de vigilancia radiológica ambiental fuera de las zonas de influencia de las instalaciones nucleares y radiactivas.

Para dar cumplimiento a estas funciones y para desarrollarlas está el *Sistema de Vigilancia Radiológica Ambiental*.

## Redes de vigilancia

El *Sistema de Vigilancia Radiológica Ambiental* se desarrolla en forma de redes, donde una red es una estructura de detección y medida de las radiaciones. Existen diferentes redes, lo que diferencia una de otra es si determina radionucleidos concretos, naturales o artificiales o sólo busca dosis, o índices de radiación sin buscar radionucleidos concretos. También se diferencian por los límites de detección que alcanzan y la “sensibilidad” de detección de las diferentes redes. Las medidas pueden realizarse de forma continua o discontinua, lo que implica el muestreo o la toma de muestras en diferentes sectores medioambientales y su posterior medida.

En España existen tres grandes bloques de redes:

1. Vigilancia de ámbito nacional. Vigila el medioambiente en todo el ámbito nacional

- Red de Alerta a la Radiactividad (RAR)/ DGPCE.
- Red de Vigilancia Radiológica Ambiental (REVIRA)/ CSN:
  - Red de Estaciones Automáticas (REA).
  - Red de Estaciones de Muestreo (REM).
- Redes que pertenecen a las Comunidades Autónomas.

2. Vigilancia en el entorno de instalaciones nucleares.

3. Programas específicos de vigilancia. Se desarrollan, se plantean y se ejecutan en unas condiciones espacio-temporales específicas, establecidas por un motivo concreto.

## Red de alerta a la radiactividad (RAR)

Es una red automática de alerta radiológica que pertenece a la Dirección General de Protección Civil. Su objetivo es la detección inmediata y el seguimiento de la evolución de sucesos que puedan provocar niveles anormales de radiación gamma. Está constituida por 902 estaciones automáticas que proporcionan la medida de tasa de dosis gamma, distribuidas de forma más o menos homogénea en todo el territorio nacional.

Su estructura, su modo de funcionamiento está jerarquizado en tres niveles:

- 1 centro nacional.
- 10 centros regionales.
- 7 centros asociados.

Funcionamiento: la información de cada una de las 902 estaciones están asignadas a un centro regional procesador a quien envía sus datos. Estos centros regionales trabajan y procesan los datos y los envían al centro nacional, que está en la Dirección General de Protección Civil. Los 7 centros asociados, entre ellos el Consejo de Seguridad Nuclear, poseen terminales de acceso inmediato a la información.

El siguiente mapa, **[Figura 1]**, muestra la distribución de las 902 estaciones, más o menos homogéneamente distribuidas en el territorio peninsular y en las islas. Los círculos en los que la concentración de estaciones automáticas es más alta, son el entorno de centrales nucleares o de alguna instalación radiactiva.

## Red de Vigilancia radiológica ambiental (REVIRA)

Los objetivos generales de esta red son:

- Conocer la concentración, distribución y evolución de los elementos radiactivos (miden radionucleidos) y de los niveles de radiación en el medio ambiente.
- Mantener actualizada una base de datos que permita disponer de niveles de referencia.
- Proporcionar datos fiables que permitan estimar el impacto radiológico potencial sobre la población.

Las redes que configuran REVIRA son:

- REA: Es la red de estaciones automáticas de medida de la radiactividad en la atmósfera, que pertenece al CSN.

**[Figura 1] Mapa de la red de alerta**



- Redes de Comunidades: Comunidad Valenciana, Cataluña, Extremadura y País Vasco disponen de sus propias redes automáticas, prácticamente iguales que las del CSN. Tiene firmados acuerdos de colaboración, de forma que el CSN accede a estos datos en tiempo real como lo hacen los organismos autonómicos.

Tienen como objetivos la vigilancia radiológica en continuo y la obtención de información para evaluar las posibles consecuencias de un accidente radiológico. La REA está compuesta en la parte que compete al CSN por 25 estaciones automáticas. Cada una de estas estaciones está formada por:

- Una estación radiológica.
- Una estación meteorológica.
- Un discriminador selectivo inteligente de comunicaciones que a través de una línea telefónica, condensa la información y la envía.

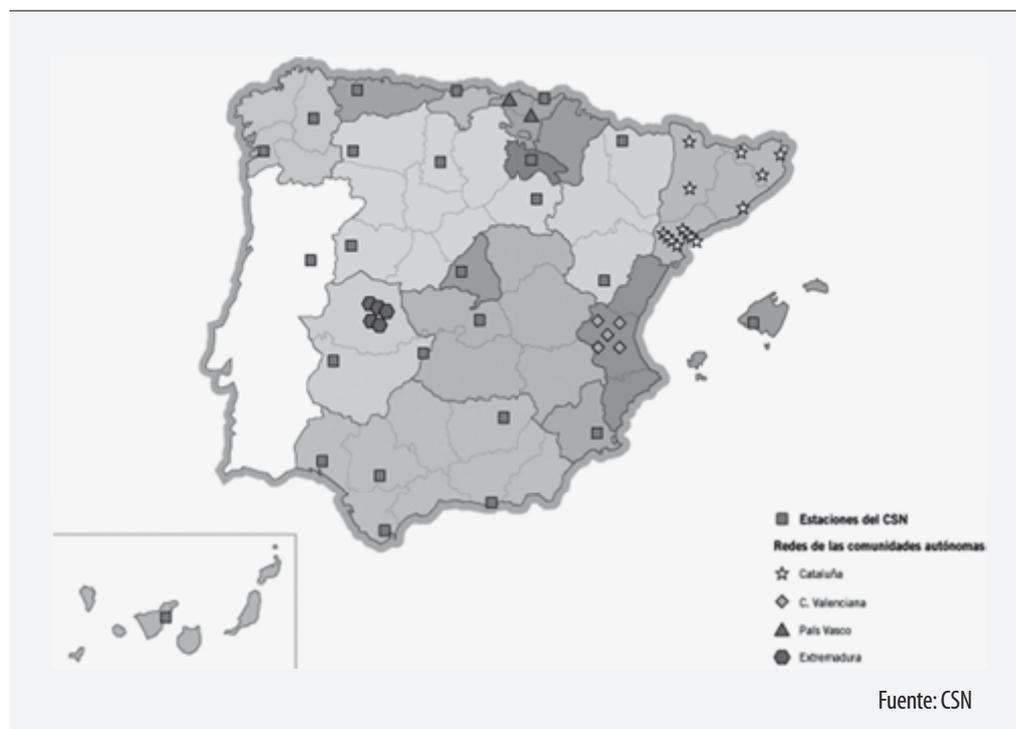
Todo el funcionamiento, recepción, gestión y análisis de datos se hace desde el Centro de Supervisión y Control de la REA, que está en el CSN.

En la **[Figura 2]** se representa la distribución de estaciones de la REA. Los cuadrados son las estaciones del CSN y el resto, las redes de comunicación automáticas pertenecientes a las Comunidades Autónomas. En total son cerca de 60 estaciones.

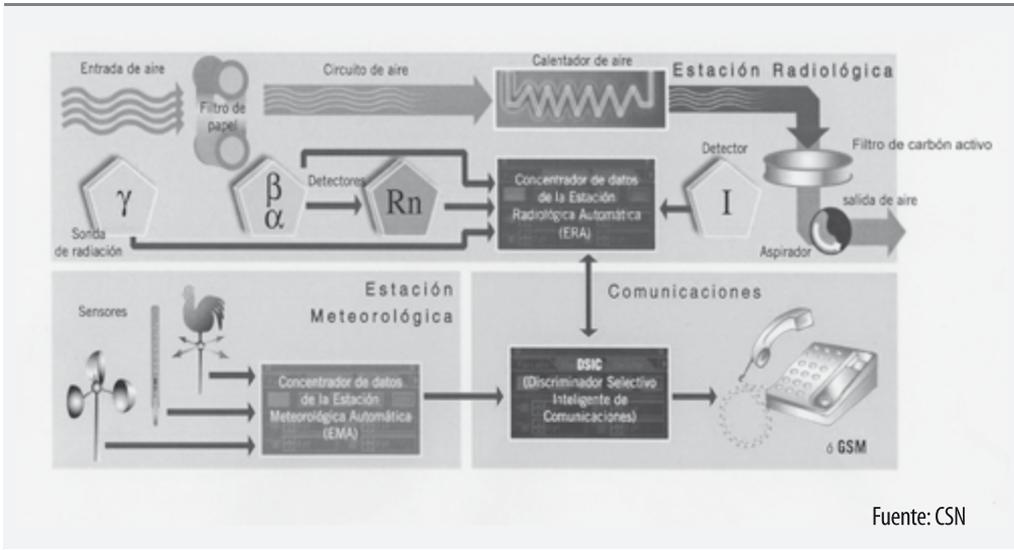
En el esquema de la **[Figura 3]** se ve cómo funciona una estación. En la parte superior se esquematiza la estación radiológica: una entrada de aire del que se mide su radioactividad con una sonda de radiación gamma. Este aire atraviesa un filtro de papel donde se depositan los aerosoles y las partículas que hay en el aire, y se mide el contenido radioactivo alfa-beta con otro detector. Un software hace un análisis de las radiaciones gamma y alfa-beta y una estimación del contenido de radón de ese aire. A continuación el aire se calienta y pasa por un filtro de carbón activo, donde el yodo se retiene y se mide su actividad, y el aire se devuelve al medioambiente. Con esta estación se tiene una estimación en tiempo real del contenido en yodo y radón, de la radiación alfa, beta y gamma del aire. Estos datos, una vez concentrados, se unen a los de la estación meteorológica que mide los valores típicos de velocidad del viento, dirección y temperatura. Y todo ello se remite a través del discriminador selectivo y la línea telefónica.

La siguiente red que pertenece a REVIRA es la REM, una red de estaciones de muestreo, gestionada por el CSN, que se encarga de recoger muestras para su análisis

**[Figura 2] Mapa de la red REA**



**[Figura 3] Esquema de una estación de la Red REA**



en laboratorios. Así como la REA son estaciones de medida continua, la REM son estaciones de medida de radionucleidos discontinuas. Las ventajas que tiene es que permite trabajar con límites de detección mucho más bajos. Es decir, son estaciones mucho más sensibles desde el punto de vista de la detección. Y permiten medir en otros segmentos ambientales que no miden las estaciones automáticas, por ejemplo, en agua o alimentos.

Las medidas se realizan mediante acuerdos de colaboración entre el CSN y diferentes universidades e instituciones. Son las universidades e instituciones las encargadas de realizar el muestreo y el proceso de preparación de medidas, de detección y de elaboración de informes de resultados. Es decir, está directamente operada por laboratorios exteriores, pertenecientes a universidades e instituciones que remiten los datos al Consejo, donde se realiza el análisis posterior. El alcance de las medidas que se hacen y los segmentos elegidos se fijan de acuerdo con la recomendación de la CE sobre el alcance de los programas de vigilancia para cumplir el artículo 36 del tratado Euratom.

Existen dos programas (REM) para la red de estaciones de muestreo:

- El Programa de Vigilancia del Medio Acuático que se realiza sobre las cuencas hidrográficas de todo el país y sobre las aguas costeras.
- El Programa de Vigilancia de la Atmósfera y el Medio Terrestre, que se hace sobre aire y suelos, sobre agua potable y alimentos, en especial sobre la leche y dieta tipo o dieta total que toma una persona.

Dentro de cada programa, existen dos redes distintas, que se denominan red densa y red espaciada. La diferencia entre ellas es que la red densa tiene un número de puntos de muestreo mayor y los límites de detección que se le piden son más altos y la red espaciada, con menos puntos de muestreo pero se les pide unos límites de detección mucho más bajos. El objetivo de esta red espaciada es tener medidas de muy bajo nivel que permitan comprobar la bondad de las medidas que van a proporcionar la red densa y que permitan analizar la evolución de las concentraciones de actividad con el tiempo.

El mapa de la [Figura 4] representa las estaciones REM en el medio acuático. Los circulitos son los puntos de muestreo y posterior medida de la red densa marina y en los ríos. En el Cabo de Ajo y en el Cabo de Reus están los puntos correspondientes a la red espaciada marina. La red densa en ríos está en el Ebro, entre Ascó y las Vandellós, otra en el Tajo, próxima a la frontera de Portugal. Los triángulos corresponden a los puntos donde hay centrales nucleares o centros relacionados con los ciclos de combustible.

[Figura 4] Ubicación de las estaciones REM acuáticas



Las estaciones de la REM que muestrean la atmósfera y el medio terrestre están en el mapa representado en la **[Figura 5]**.

**[Figura 5] Ubicación de las estaciones REM que muestrean la atmósfera y el medio terrestre**



Los puntos son la red densa, homogéneamente distribuidos y prácticamente en todas las Comunidades, los rombos son los puntos de la red espaciada y los cilindros y los triángulos son los puntos donde se está muestreando.

La **[Figura 6]** muestra una comparación sobre tres de las estaciones que se utilizan para medir en el aire.

La primera, en la izquierda, es una estación de captación automática de la REA. Los captadores de aire se encuentran fuera. Funciona recolectando  $25 \text{ m}^3/\text{hora}$ , con una medida cada 10 minutos. Luego los datos que se proporcionan son sobre  $4,2 \text{ m}^3$  de aire.

La segunda, en el centro, es una estación de la red espaciada de la REM, una estación de alto flujo. Se está trabajando sobre  $600 \text{ m}^3/\text{hora}$ , recolectando las partículas del aire cada 7 días. Por lo tanto, se están proporcionando datos correspondientes a  $100.000 \text{ m}^3$  de aire.

**[Figura 6] Comparación de tres estaciones utilizadas para medir el aire**

		
REVIRA – REA 25 m <sup>3</sup> /hora 10 min Datos sobre 4,2 m <sup>3</sup>	REVIRA REM 600 m <sup>3</sup> /hora 7 días Datos sobre 100.000m <sup>3</sup>	REVIRA – REM (densa) 1.8 m <sup>3</sup> /hora 7 días Datos sobre 300 m <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia

La tercera, en la derecha, es una estación de bajo flujo. Pertenece a la red densa de la REM. Se muestrea sobre 1,8 m<sup>3</sup>/hora, simulando la cantidad que respira un adulto. Se muestrea durante 7 días por lo que proporciona datos sobre 300 m<sup>3</sup> de aire.

Son tres sistemas distintos para controlar el aire. Un sistema que al muestrear sobre poco volumen de aire, da datos con un límite de detección bastante alto, pero un dato cada 10 minutos. Estamos controlando muy bien si en algún momento hay algún cambio o alteración. Es una red de alerta, porque tenemos la colección de datos de casi 60 estaciones distribuidas por todo el territorio nacional, que nos permiten cada 10 minutos ver lo que están proporcionando.

Con la segunda se está “disparando a todo lo que se mueve”, midiendo sobre 100.000 m<sup>3</sup> de aire, con unos límites de detección muy bajos que nos permiten saber qué tenemos en nuestro aire con exactitud. Límites bajos indican, por ejemplo, para el cesio, actividades de 10<sup>-7</sup> bequerelios/m<sup>3</sup>.

En cambio la tercera permite simular lo que una persona respira, haciendo estimaciones de dosis.

## Vigilancia en el entorno de las instalaciones

Tenemos dos programas de vigilancia radiológica ambiental perfectamente definidos que son:

- Los Programas de Vigilancia Radiológica Ambiental en operación normal o **PVRA**, que es responsabilidad directa del titular de una instalación radioactiva. Éste tiene que encargarse de realizar programas de vigilancia radiológica ambiental en operación normal, en el entorno de la instalación de la que es titular. Es el conjunto formado por la red de vigilancia y los procedimientos de muestreo, análisis y medida. Su objetivo es determinar el posible incremento en los niveles de radiación y en la presencia de radionucleidos en el medioambiente para estimar el impacto radiológico debido al funcionamiento de la instalación. El contenido y el alcance de estos programas siguen las recomendaciones del CSN teniendo en cuenta el tipo de instalación y las características del emplazamiento. Los PVRAS se realizan en las tres fases de la instalación, la fase preoperacional, la fase operacional y la fase de desmantelamiento y clausura.
- Los programas desarrollados por el CSN, que son Programas de Vigilancia Radiológica Ambiental Independiente o **PVRAIN**, actúan como control, al duplicar parte del programa que realiza el titular.

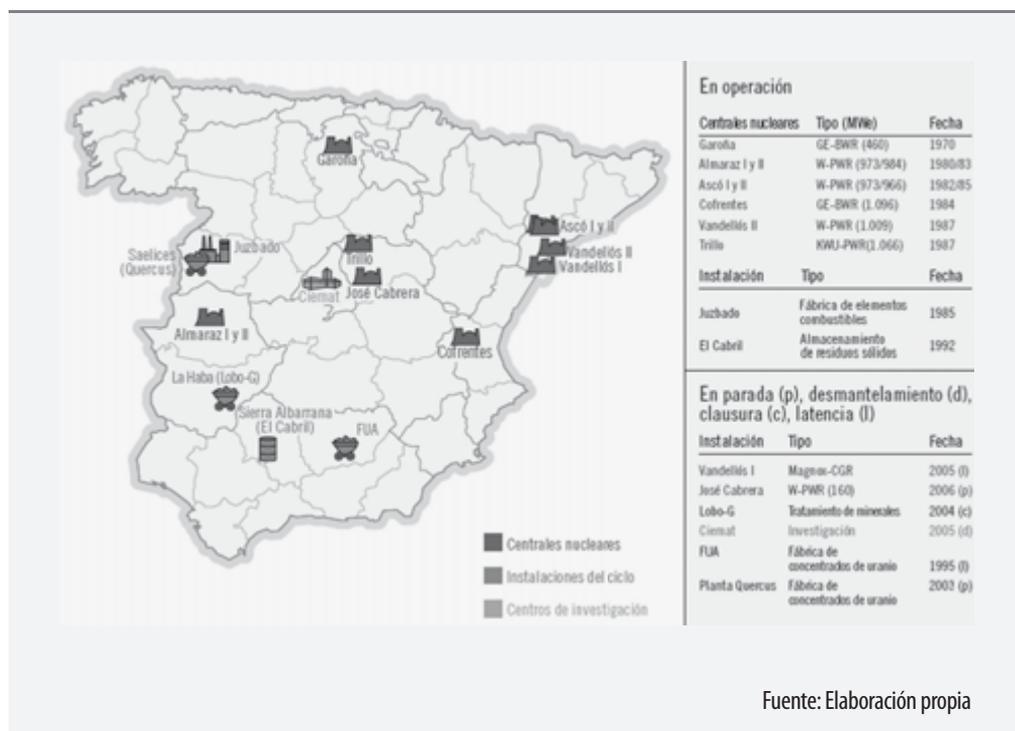
En el mapa de la **[Figura 7]** están situados los puntos donde se están realizando PVRAS y PVRAINES. Son las centrales nucleares y las instalaciones de ciclo de combustible, el almacenamiento de residuos de El Cabril y el CIEMAT, en cualquiera de las tres fases.

Sobre todos el CSN realiza un control regulador a través de la realización de inspecciones periódicas, evaluando los datos obtenidos. El CSN no tiene laboratorios, por lo que los Programas de Vigilancia Radiológica Ambiental Independientes, PVRAINES, se los encomienda a las Comunidades Autónomas, muchas veces a través de acuerdos con los laboratorios de la REM de la Red de Vigilancia Nacional, laboratorios de universidades o de otras instituciones.

## Vigilancia radiológica ambiental. Información

Todos estos planes de vigilancia, las 602 estaciones automáticas de la dirección general de protección civil, las 60 de las redes de estaciones automáticas, y las treinta y tantas de la REM están generando una exhaustiva información, cada 10 minutos, semanales, etc. Esa información está disponible en <http://www.csn.es>. Es uno de los logros mayores del sistema. Se puede obtener información inmediata de la tasa de dosis diaria y media de las estaciones de la REA.

[Figura 7] Situación de PVRAS y PVRAINES



También hay un proyecto EURDEP de la Comisión Europea, desde 1994, donde se pueden obtener los datos de vigilancia radiológica a escala europea y en tiempo real.

Hay informes periódicos, por ejemplo del CSN al Congreso de los Diputados y al Senado, y también informes específicos. Por ejemplo, la vigilancia radiológica ambiental y sus resultados en España que publica el CSN dentro de su colección de informes técnicos, que salen todos los años y que están disponibles en la web. También los datos de la red de estaciones automáticas de vigilancia radiológica ambiental (REA) del CSN, en la publicación Operación y Resultados.

Hay otras publicaciones de otras entidades, en <http://www.java.ei.jrc.it>, Environmental Radioactivity in the European Community, Base de datos REM emitidos por la Unión Europea, informes anuales del Ministerio de Medio Ambiente e informes del CEDES.

## Conclusiones

El sistema desarrollado permite vigilar y controlar las emisiones radioactivas de las centrales nucleares y por extensión, cualquiera de las instalaciones nucleares y radiactivas.

Permite extraer conclusiones respecto a su funcionamiento y a su posible o potencial impacto.

Además, permite proporcionar una información objetiva, totalmente aséptica independiente de los operadores de las instalaciones nucleares o radioactivas sometidas al escrutinio de la opinión pública. Al poder acceder a la información, cada persona puede evaluar qué está pasando con los impactos radiológicos cada 10 minutos en los entornos de las instalaciones. Y se pueden comparar con datos procedentes de instalaciones situadas a 500 km de distancia de una instalación y ver si hay diferencias apreciables. También se pueden analizar los datos que existen de muestreos de alimentos, suelos y aire. Y se puede mirar el cesio que hay en suelos próximos a centrales, haciendo el seguimiento a lo largo de 20 años. Si aumenta, disminuye, o sigue estable. Y comparar esos datos con el cesio que existe en otros suelos a 500 Km de una central.

Disponer de toda esa información que ha pasado a pertenecer a la opinión pública, a la comunidad científica, supone uno de los grandes logros de la red. |●|

# Contribución de la inspección en servicio en la gestión de la vida útil de las centrales nucleares

JUAN ORTEGA – TECNATOM

## Introducción

Como introducción se va a presentar una breve descripción de Tecnatom. Se verá a continuación cuál es el concepto y el rol de la inspección en servicio, o como se llama, “hacer de ITV” para las centrales nucleares, cuáles son su alcance y sus objetivos, cómo ha ido evolucionando desde la gestión de la Inspección de Servicio o ISI a lo que es una gestión integral de la vida de una central, y cómo se ve en Tecnatom el presente y futuro de la inspección en servicio dentro del entorno nuclear.

## Contribución de Tecnatom al desarrollo del sector nuclear nacional

Hablar de Tecnatom es hablar de la historia del sector nuclear nacional. Tecnatom se constituyó en los años 60 como una ingeniería de apoyo al primer proyecto nuclear que se construyó en España, la central nuclear de José Cabrera. Tecnatom actuó como ingeniería específica de esa central.

En los 70, con el lanzamiento de los programas nucleares por las compañías eléctricas de aquella época, Tecnatom se dedicó específicamente a la formación del personal que opera en los reactores y a las “inspecciones en servicio”.

Con esas actividades se empezó lo que constituye el núcleo de la nueva Tecnatom. Y lo primero que se pudo ver fue que la tecnología que había que aplicar en el parque nuclear, en aquel momento de construcción, requería una innovación tecnológica continua. Entonces se consiguió la tecnología en el exterior. No había tecnología nacional disponible. Pero en seguida se vio la necesidad de hacer una apuesta por el desarrollo tecnológico para poder alcanzar la independencia tecnológica.

En los años 80 Tecnatom se lanzó a la búsqueda de la independencia tecnológica. Y en el momento en que estaba preparada para abordar las necesidades de un parque

nuclear de 18 centrales, vino la “moratoria” del año 1994, que bloqueó su crecimiento en el mercado nuclear nacional. Eso impactó muchísimo, no sólo en Tecnatom, sino también en otras empresas del sector. Y en vez de hacer como en algún otro país, una reducción de la capacidad adquirida, se lanzó al mercado internacional. La diferencia de España con respecto a otros países europeos, que vivieron esa misma situación, con un periodo donde no se construyeron otras centrales, como Suecia, Reino Unido o Bélgica es que las industrias tipo Tecnatom desaparecieron prácticamente, mientras que en España se hizo una apuesta por la internacionalización, una apuesta por demostrar y ser capaces de verificar que la capacidad demandada en las plantas españolas podría ser un activo perfectamente comercializable en un mercado internacional muy exigente.

Tecnatom en este momento es una empresa española localizada en Madrid, con centros de trabajo tanto propios como cedidos por algunos operadores de las centrales nucleares. Tiene centros de apoyo técnico en la central de Santa María de Garoña y en Cofrentes.

Tecnatom tiene empresas adquiridas en el exterior, para poder soportar la internacionalización de sus productos y servicios. Hace dos años, teniendo en cuenta el potencial que representan los mercados de Asia, en concreto China, ha apostado específicamente por este mercado. Tiene una empresa mixta con el mayor operador de centrales nucleares en China, y se han montado en España, con otras empresas del sector, una empresa, la Spanish Nuclear Group of China, para potenciar la presencia del sector nuclear español en un área geográfica tan importante, donde está previsto la construcción de más de 100 centrales nucleares en los próximos años.

Actualmente, Tecnatom es propiedad de las tres compañías eléctricas que tienen activos nucleares: Endesa Generación, Iberdrola y Unión Fenosa. El porcentaje de propiedad de cada una de estas empresas corresponde aproximadamente al de los activos nucleares que tienen en las plantas nacionales.

Forma parte de Tecnatom un equipo de unas 700 personas, de las que más del 70% son titulados superiores o medios. Es una empresa muy tecnificada. Cabe destacar que está creciendo del orden de un 20% anual, por la demanda del mercado nuclear nacional, ya que las centrales piden cada vez más servicios, y la demanda del mercado internacional. Es un buen dato para un país como España.

Los dos roles de Tecnatom son, por un lado, controlar y valorar la integridad estructural y la operabilidad de los sistemas, esenciales para la seguridad, en la que nos centraremos. La otra parte muy importante y que ocupa casi un 50% de la actividad de Tecnatom es dar soporte técnico a los operadores de las plantas para garantizar la operación segura, fiable y eficiente.

## Objetivos del programa de inspección en servicio

El objetivo del programa de inspección en servicio es “hacer la ITV” de las centrales nucleares, verificar que la integridad estructural y la capacidad operacional de los componentes esenciales y de los sistemas relacionados con la seguridad están dentro de la normativa durante la vida útil de la central.

Dentro del concepto de MISI, Manual de Inspección en Servicio, se incorporan, de común acuerdo con los operadores de centrales, una serie de componentes que, no siendo esenciales para la seguridad, son importantes para la operación eficiente de la planta. Por ejemplo toda la parte del secundario, esta parte convencional requiere también un seguimiento estricto y bajo la misma regulación que se aplica a la parte nuclear, porque aunque no tenga impacto en la seguridad, sí que tiene impacto en una operación rentable y fiable de la planta. Y por tanto, tienen el mismo tipo de consideración. Su planificación es muy sencilla: antes de arrancar la central se hace una especie de huella de lo que son los componentes de las áreas más significativas de la central. Eso se verifica a lo largo de los años: 40, 50, 60 y porqué no, 70 años, para comprobar que las condiciones iniciales en las que la planta arrancó, no se han modificado significativamente. Ése es el concepto de la Inspección de Servicio. Repetir los exámenes y los controles de manera que se verifique que no ha habido cambios, características nuevas, mal funciones o malformaciones en los materiales, con el objetivo de garantizar las condiciones de operación.

Las inspecciones no sólo afectan a la vasija del reactor, también a otros componentes más convencionales de una central de generación de energía eléctrica, como puede ser un generador eléctrico o cualquier tipo de válvula tanto en la parte nuclear como en la convencional.

## Gestión de vida

¿Cuándo se hacen esos controles? Hay controles que se hacen *on line*, con la central a plena potencia. Hay diseños de las centrales que permiten chequear y controlar la capacidad estructural y operativa de los sistemas, y que se pueden realizar con la central en potencia. Pero generalmente se espera a las paradas de recarga para realizar el control y el programa de ensayos.

Se verifican componentes nucleares, por ejemplo, el combustible, en colaboración con el fabricante del mismo. Componentes principales, como la vasija del reactor, y componentes del secundario, como la turbina de vapor, etc.

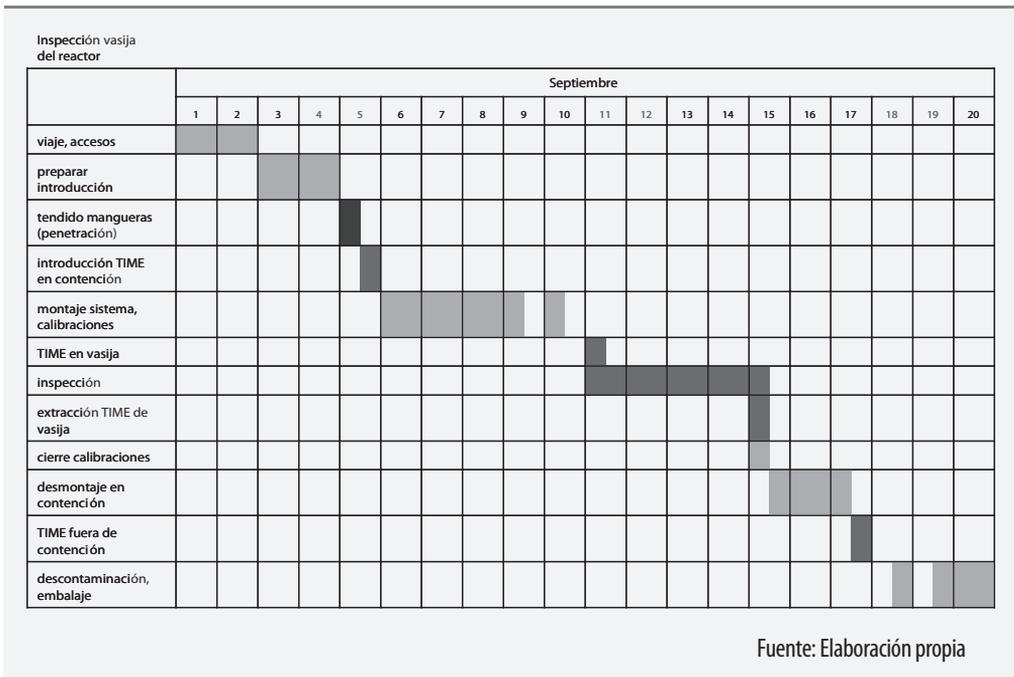
Se verifica la integridad del sistema mediante pruebas de fugas. Se monitoriza y se hace un diagnóstico preventivo al objeto de programar qué actividades hay que hacer en el próximo periodo.

Para esto se hace un análisis global de lo que es un reactor, se identifican en el reactor los diferentes niveles de seguridad, según la normativa (clase de seguridad 1, 2 y 3). El Consejo de Seguridad Nuclear regula, controla y verifica que esa clasificación es la correcta de acuerdo con la normativa. Se hace una disección de todos los sistemas y componentes (incluso pernos y elementos del reactor y de la planta en general) y todo esto se almacena en una gran base de datos. En ella aparece la normativa de referencia, qué documentación se autoriza para hacer esta selección, qué tipo de técnica de control hay que realizar de forma periódica para los diferentes tipos de componentes (soportes, amortiguadores, turbinas, válvulas...). Y todo eso configura la base de datos que va a ser monitorizada a lo largo de la vida útil del reactor.

Desde el punto de vista de métodos de control, se utilizan técnicas de ensayos no destructivos. Son métodos indirectos de verificar cuál es la integridad del componente sin afectarles. Es la típica radiografía o inspección por ultrasonidos, que permite identificar cuál es el grado de integridad, detectando defectos o verificando que no existen defectos o fenómenos degradatorios que hayan podido afectar al material. Eso afecta a todos los componentes.

Es importante destacar que aunque el control no destructivo de una vasija se hace en 2 ó 3 días, la preparación lleva un año. Lo podemos ver en el gráfico representado en la **[Figura 1]**:

**[Figura 1] Planificación temporal de una inspección en servicio**



El trabajo que al final se realiza en la central es sólo un reflejo del esfuerzo de preparación, calificación y capacitación de todo el personal para hacer ese trabajo de forma eficiente, en el poco tiempo que una parada de recarga exige.

También se hacen pruebas de fugas del edificio de contención, de válvulas locales, diagnosis de válvulas, integridad de la contención, pruebas funcionales de amortiguadores y pruebas eléctricas. Se cubren prácticamente todos los componentes críticos desde el punto de vista de la seguridad y de todos los componentes esenciales desde el punto de vista de eficiencia en la operación de una central.

Toda esta información pasa a la base de datos, y a través de una herramienta que se ha desarrollado, durante casi 10 años, se almacenan los resultados de las inspecciones, de las pruebas, de los objetivos de diagnosis y modificaciones de diseño. Y estas bases de datos se alimentan con los cambios de normativa y los nuevos requisitos que la autoridad reguladora exige en la operación de la central, junto con la información sobre los mecanismos degradatorios de los materiales que la información a nivel mundial va alimentando, basados en las experiencias operativas de otras centrales. Toda esta información se pone a disposición del operador para poder realizar distintos tipos de análisis.

Existen gran diversidad de temas. Por ejemplo, problemáticas específicas, como en Garoña, donde se ha analizado específicamente el tema de cableado. Tecnatom ha desarrollado un proyecto muy interesante sobre gestión de vida de cables, financiado por el Consejo y por UNESA. Programas de obsolescencia y todo el concepto de fiabilidad de equipos, mantenimiento, fragilización de la vasija del reactor o los análisis de seguridad.

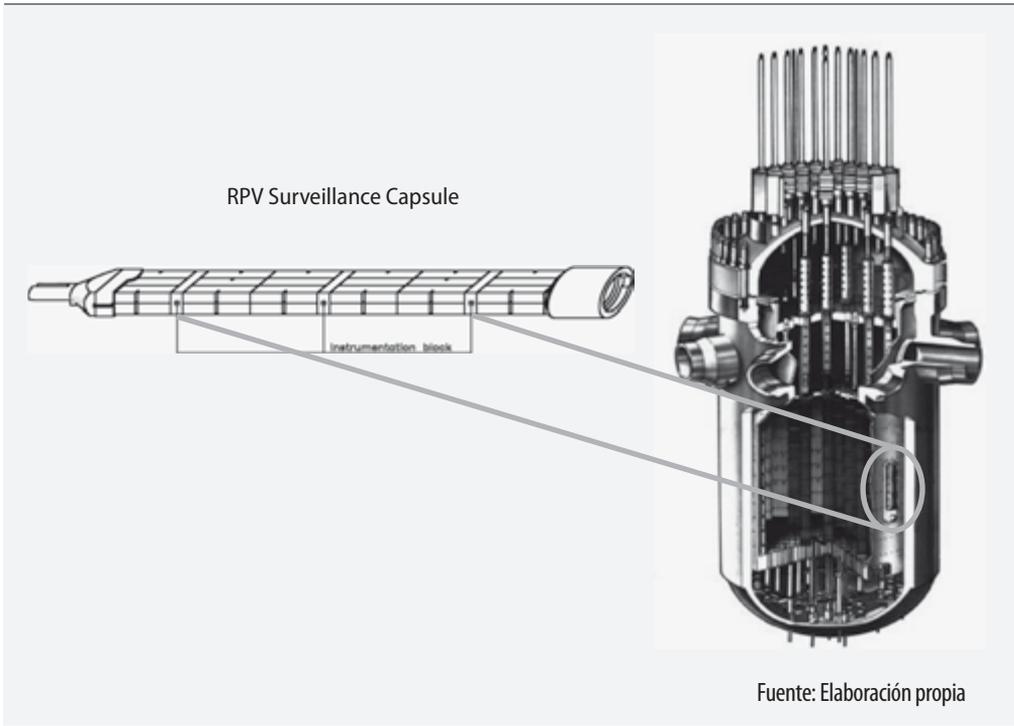
Con toda esta información y análisis específicos, el operador puede realizar la gestión del activo y puede programar la vida operativa o la vida útil de la forma que considere oportuna.

Los análisis de integridad son necesarios para verificar el grado de viabilidad de las operaciones a largo plazo. Se hacen análisis tensionales, térmicos y de impacto de los transitorios térmicos. No sólo a la vasija sino también al resto de los componentes.

En la **[Figura 2]** puede verse cómo se hace el estudio de la fragilización de la vasija.

Antes del arranque del reactor, se cargan dentro unas probetas que reproducen el material de la pared del reactor. Estas probetas, que están más cerca del núcleo, sufren un proceso acelerado de irradiación. Mediante la extracción periódica de estas probetas se puede hacer una previsión de cuál es el nivel de fragilización del material de la vasija y por lo tanto, prever cómo las condiciones para las cuales el reactor fue diseñado se están consolidando en la operación del reactor.

**[Figura 2] Estudio de la fragilización de una vasija**



Por ejemplo, en los resultados de las pruebas que se hicieron en la central de José Cabrera al final de la vida real de la central, se verificó que se había consumido el 40% de la vida de diseño. La vasija de José Cabrera tenía un exceso de tiempo para poder seguir siendo operada con seguridad. También es verdad que en algunos reactores, no españoles, donde la fragilización se ha producido, no han clausurado la operación. Han realizado un simple proceso metalúrgico que puede revertir las condiciones del material de la vasija a las condiciones iniciales. Se ha hecho en Finlandia con dos reactores. No es el caso tanto de las centrales españolas, como de Estados Unidos, donde toda la información existente permite operar hasta 60 años de acuerdo con los resultados de estos tipos de ensayos.

## Presente y futuro de la inspección de servicio

La inspección de servicio es una demanda del operador, que requiere disponer de un elevado número de recursos altamente cualificados, y con un compromiso de innovación tecnológica muy significativo. Tecnatom está invirtiendo entre el 10 y el 12% de sus ingresos en proyectos de investigación y desarrollo. Es un porcentaje que, hoy en día, no son capaces de mantener ni las empresas aeronáuticas europeas.

**|Figura 3| Inspección de servicio**

Fuente: Elaboración propia

La industria nuclear española y Tecnatom en concreto, son capaces de mantener ese compromiso de innovación que el sector demanda.

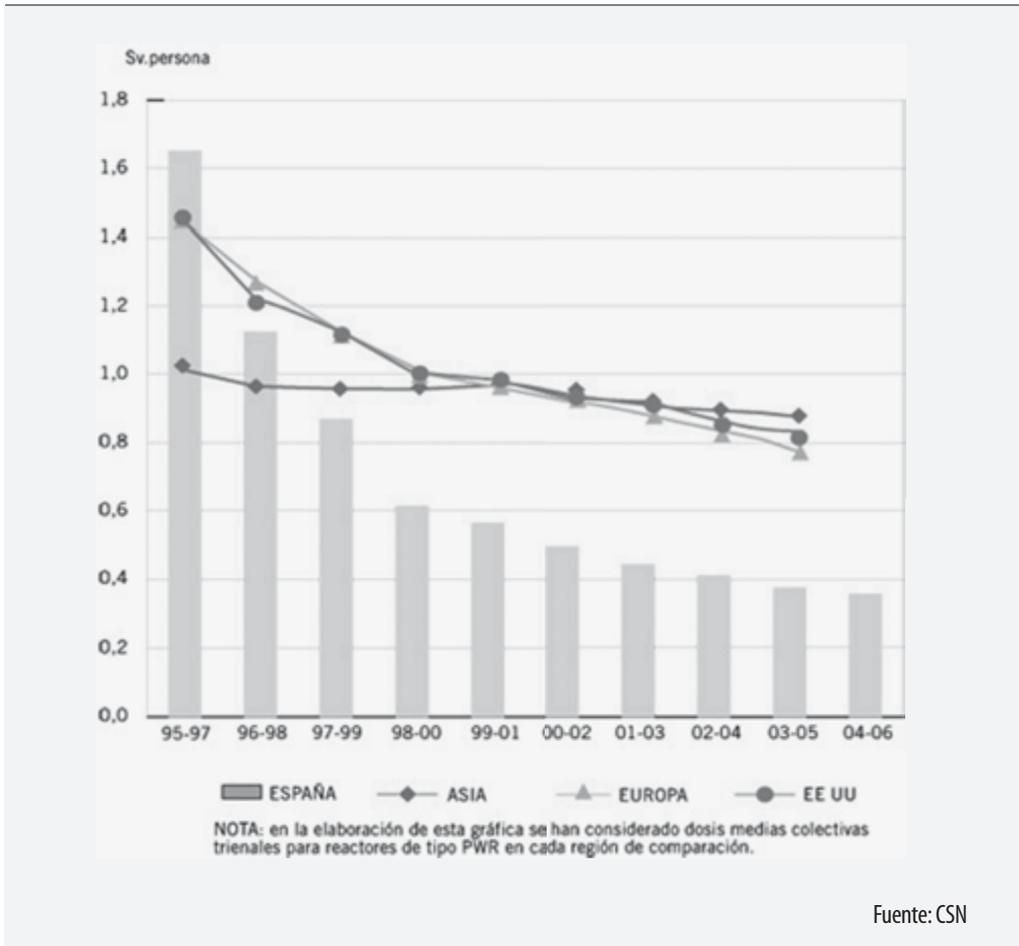
Por ejemplo, la carga de trabajo que una inspección de servicio demanda en una parada de recarga es de 150 personas involucradas directamente, que con personal auxiliar se multiplica por dos y consumen unas 25.000 horas de personal directas o 50.000 con mano de obra auxiliar. Esto, para un ciclo de unas 3 ó 4 semanas de recarga.

Hace falta una detallada planificación previa muy ajustada. La regulación española, liderada por el Consejo, exige en este momento una formación y calificación de personal, equipos, técnicas y procedimientos muy estrictos, regulados por la norma CSN IS-12. Todos los métodos de control y de inspección que se empleen en los componentes esenciales para la seguridad tienen que haber demostrado fehacientemente su eficacia a través de un proceso bastante complejo de cumplir. Durante unos 4 años se han estado desarrollando y cualificando estos procesos.

En este momento, en las plantas españolas, Tecnatom está aplicando estos sistemas de control con un elevado grado de automatización en aras de una mayor calidad y una reducción de dosis radioactiva recibida en la operación.

En la gráfica de la **|Figura 4|**, del Consejo de Seguridad Nuclear, demuestra cómo ha ido bajando la dosis absorbida por el personal de las centrales españolas en comparación con la tendencia de las centrales de Europa, de Asia y de Estados Unidos. Es importante remarcar que desde 1997 hasta 2006 se ha sido capaz de reducir la dosis a una cuarta parte, mientras que el resto de plantas internacionales han reducido la dosis sólo a la mitad.

[Figura 4] Dosis medias colectivas

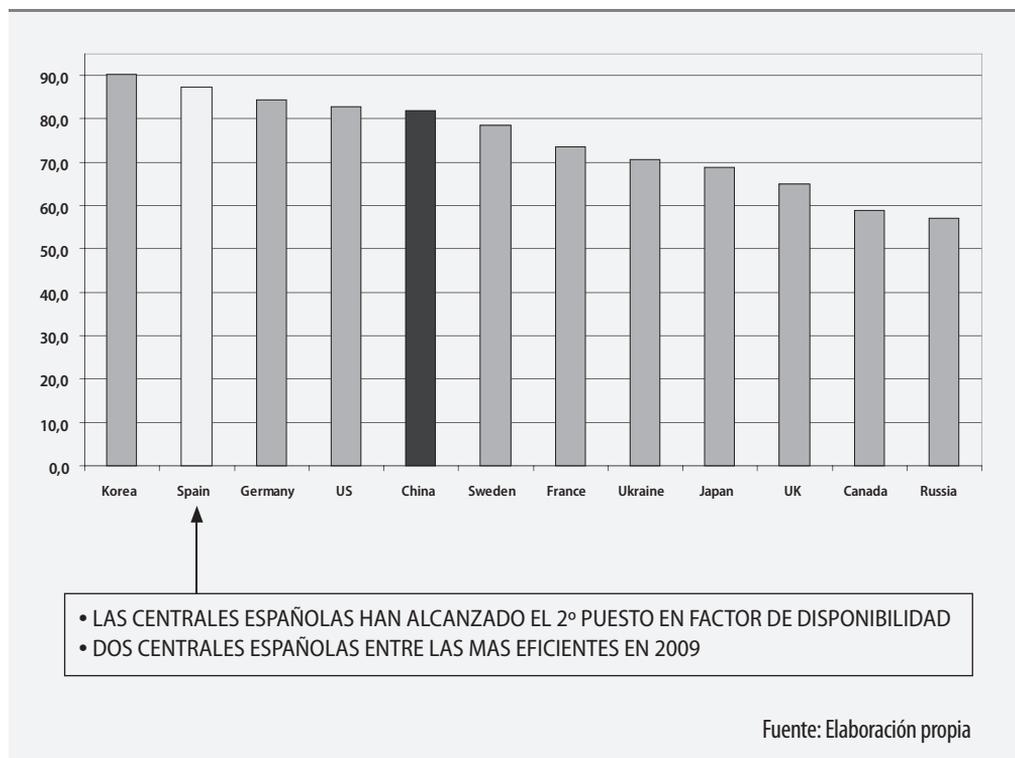


Eso es un ejemplo real del esfuerzo que hacen las plantas españolas para optimizar la ejecución de los servicios de inspección y de mantenimiento durante recarga.

Tecnatom no podría haber subsistido con el parque nuclear nacional, teniendo en cuenta el alto nivel de inversiones que esta tecnología demanda y eso nos ha obligado a ir al mercado exterior. No se hubiera podido ir al mercado internacional si se hubiera podido demostrar que el parque español funciona razonablemente, incluso a la cabeza. La [Figura 5] es una gráfica que indica que el factor de carga de 11 países con un parque nuclear es significativo.

Con el factor de carga promediado entre el año 1995 y 2006, vemos que España ocupa el 22º lugar. China es de destacar, porque tiene un parque nuclear creciente, con 25 reactores en diferentes fases de construcción, y ha apostado por construir cerca

**[Figura 5] Factor de disponibilidad de las centrales españolas comparadas con otras centrales**



de 100 centrales de aquí al 2030. Actualmente tiene un factor de carga inferior a las plantas españolas.

Recientemente se ha publicado que dos centrales españolas, en concreto Santa María de Garoña y la central de Almaraz, están entre las primeras del mundo en factores de carga. Eso es un fiel reflejo de la calidad que ha facilitado a Tecnatom el poder salir al extranjero.

Ciertamente, la normativa que se aplica en España es una normativa internacional. El personal de Tecnatom y los equipos y tecnologías de Tecnatom que hoy en día se están empleando en la central nuclear de Santa María de Garoña, mañana pueden viajar a una central de Suiza o a una de Estados Unidos, porque la regulación es totalmente internacional.

Tecnatom tiene una política de alianzas importante, porque el mercado internacional es muy demandante. La política de Tecnatom específica a la hora de compensar el mercado nacional con el internacional es una realidad. Hoy día Tecnatom tiene referencias en el 50% de las plantas nucleares americanas, en el 90% de

las centrales de Escandinavia, el 40% de las de la Unión Europea y un 40% en las centrales de los países del Este. Actualmente se está empezando a trabajar en una central en China, y participando en una central de Sudáfrica, incluso formando al personal.

En la prensa se habla de que las técnicas de inspección o los controles que se hacen en las centrales nucleares españolas son deficientes o en algunos casos insuficientes. Tecnatom ha tenido la gran fortuna de poder elaborar y trasladar su experiencia en la inspección de componentes nucleares a un sector tan demandante como es el sector aeronáutico. Nadie tiene aprensión de volar en un avión. Pues Tecnatom ha podido trasvasar la tecnología y la experiencia en la inspección de componentes nucleares a los componentes aeronáuticos. Y hoy en día, equipos y sistemas que se están desarrollando y utilizando en las plantas nucleares españolas se están utilizando exactamente igual en el control, por ejemplo, del fuselaje del 380, el nuevo Airbus de doble cabina que se fabrica aquí en España o en cualquier componente crítico de un avión (**Figura 6**), en algún caso, incluso utilizando el mismo equipamiento. Las mismas máquinas de inspección de un reactor nuclear se usan para medir el cono del cohete Ariane.

El futuro de las Inspecciones de servicio está en el futuro de los nuevos Reactores (Generación III, Generación IV). La industria española y, en concreto, Tecnatom está presente en la mayoría de los nuevos proyectos de los grandes reactores que están en fase de fabricación y de proyecto en todo el mundo.

Tecnatom está colaborando en prácticamente todos los continentes en donde hay proyectos de desarrollo. Ésta es una garantía de la confianza que el sector nuclear mundial tiene con las grandes empresas como Tecnatom, que son fiel exponente de la capacidad que hay a nivel internacional.

**|Figura 6| Central Nuclear. Airbus 380**



Fuente: Elaboración propia

Otro tema importante en el que está trabajando Tecnatom es, por ejemplo, el proyecto ITER, en los requisitos para hacer la inspección en servicio de la vasija de vacío de este reactor.

## Conclusiones

La inspección de servicio es una actividad clave para la evaluación de la integridad de la central y es un aval de su operación segura; es una base para la eficiente gestión de los activos a lo largo de la vida útil. El elevado nivel de exigencia que a nivel nacional existe nos ha permitido expandir estas capacidades en un mercado internacional de similares niveles de exigencia.

La industria española ha conseguido esta elevada presencia en el mercado internacional, y yo creo que eso es un fiel reflejo de la eficiencia y la opción por la excelencia que hemos hecho todos. Demuestra la capacidad de la industria española y refleja el nivel tecnológico del país.

La participación de Tecnatom en los reactores de nueva generación, III y IV, se espera que sea una garantía ante futuras necesidades locales. |●|



# Operación a largo plazo de las centrales nucleares españolas: renovación de la autorización de explotación de Santa María de Garoña

MARTÍN REGAÑO URETA-NUCLENOR

## Introducción

El Consejo de Seguridad Nuclear ha presentado recientemente las autorizaciones de Santa María de Garoña, una central ubicada al norte de la provincia de Burgos, que comenzó su operación comercial en marzo de 1971. Es un reactor de agua en ebullición cuya ingeniería básica fue diseñada por General Electric y su ingeniería de detalle, construcción, montaje y puesta en marcha fue supervisada por la misma compañía. Su potencia es de 466 MWe.

Cabe destacar que en el mundo, dentro de las 90 centrales en operación con reactores de agua en ebullición, hay unas 25 con el mismo diseño, el mismo suministrador, las mismas características y la misma edad (todas entre el año 69 y 74) que Santa María de Garoña, que están actualmente operando.

Esta es la lista con las principales:

- Oyster Creek-1969 (USA)\*.
- Nine Mile Point 1-1969 \* (USA).
- Dresden 2,3-1970/71 \* (USA).
- Monticello-1971 \* (USA).
- Fukushima 1-1971 (Japón).
- Pilgrim-1972 (USA).
- Vermont Yankee-1972 (USA).
- Mühleberg-1972 (Suiza).
- Oskarsham-1972 (Suecia).
- Quad Cities 1,2-1973 \* (USA).
- Peach Bottom 2,3-1974 \* (USA).
- Hatch 1-1974 \* (USA).

Las marcadas con un asterisco son las 10 centrales de Estados Unidos que ya han obtenido renovación del permiso de operación hasta los 60 años. Dos de ellas son relevantes, las de Dresden y Monticello que desde el origen del diseño han sido plantas de referencia para la central de Santa María de Garoña. Significa que desde el diseño, la construcción y la operación, nuestros operadores han estado entrenándose en esas plantas y en sus simuladores.

Hay otras centrales con licencia para operar 60 años en Europa, en Suiza y Holanda, que por ser reactores de agua a presión, distintos al de Santa María de Garoña, no están en este listado. Y además, en otros países como Finlandia, Suecia y Reino Unido están en programas que tienen en cuenta el concepto de operación a largo plazo.

## Fiabilidad. Trayectoria de funcionamiento

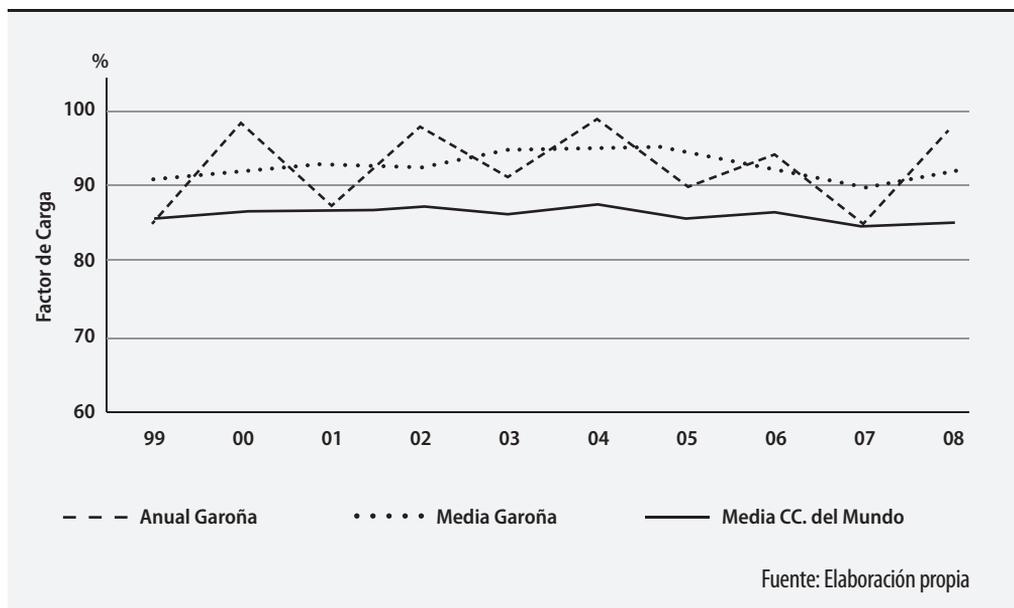
Como punto de partida para cualquier operación a largo plazo hay que fundamentarse en dos elementos: el primero es que la central esté en buenas condiciones, que sea una central fiable, de acuerdo con una serie de indicadores. Uno de ellos es el *factor de carga*. El factor de carga representa por el tanto por ciento de horas de funcionamiento, durante un año. El factor de carga de Garoña, tiene una media del 93% en los últimos 10 años, un 7% por encima de lo que es la media de todas las centrales nucleares en el mundo (**Figura 1**).

Es un punto de partida fundamental para pensar cualquier operación a largo plazo.

El segundo elemento básico, sin el cual no tiene ningún sentido seguir reflexionando, es que *la central tiene que tener una garantía, una seguridad sin sombra ni sospecha*. El responsable de supervisar el funcionamiento de las centrales nucleares españolas es el Consejo de Seguridad Nuclear, un organismo público independiente que tiene todos los medios y recursos para llevar la labor reguladora, con dos líneas de actuación: la primera, mediante dos inspectores residentes que permanentemente están en cada una de las centrales y, además, con una serie de inspecciones monográficas que vienen a ser del orden de 20 al año. Todos los resultados de la labor de inspección y supervisora son públicos, se exponen en la página web del Consejo y son cuantificables. Desde que está en marcha este sistema de medición y comunicación del funcionamiento de las centrales nucleares, a principios del 2007, Santa María de Garoña ha tenido todos sus indicadores en “verde”, que es el nivel más alto del sistema de calificación que tiene el Consejo de Seguridad Nuclear.

Además de esto, Nuclenor ha realizado en los últimos 10 años varias supervisiones, evaluaciones internacionales, de las que destacamos las tres últimas, realizadas por el

**[Figura 1] Factor de carga de la central de Santa María de Garoña en comparación con los factores de carga de otras centrales nucleares**



Organismo Internacional de Energía Atómica, con carácter voluntario. Las conclusiones han sido muy interesantes. Hemos conseguido aprender mucho de estas inspecciones, nos han comparado muy positivamente con otras centrales siguiendo las mejores prácticas internacionales y nos han dado muchas sugerencias y recomendaciones.

Hay siempre dos conclusiones comunes en todas las inspecciones: una es que han encontrado la central en muy buenas condiciones y la segunda, que se enfatiza en la última evaluación internacional, la misión SCART, es la cultura de seguridad de nuestra organización, en la que se destaca *el compromiso del personal en relación con la seguridad y la fiabilidad de toda la planta*. Estos dos son los pilares fundamentales.

Si la instalación tiene unos indicadores totalmente cuantificables que indican que es segura, nos hemos decidido desde hace mucho tiempo a tener una visión de largo plazo que vaya ajustando y acomodando todas las modificaciones que hay que ir introduciendo en la central para tenerla actualizada de acuerdo con la nueva normativa. Hay que tenerla en condiciones óptimas, incorporando equipos que tengan mejores prestaciones y que son al final los que consiguen que esa fiabilidad y esos indicadores sean muy buenos, entre los mejores del sector a nivel mundial.

Se han hecho muchas innovaciones últimamente, como el sistema de Vigilancia del Flujo Neutrónico Rango Potencia en 2003, el sistema de Habitabilidad de Sala de

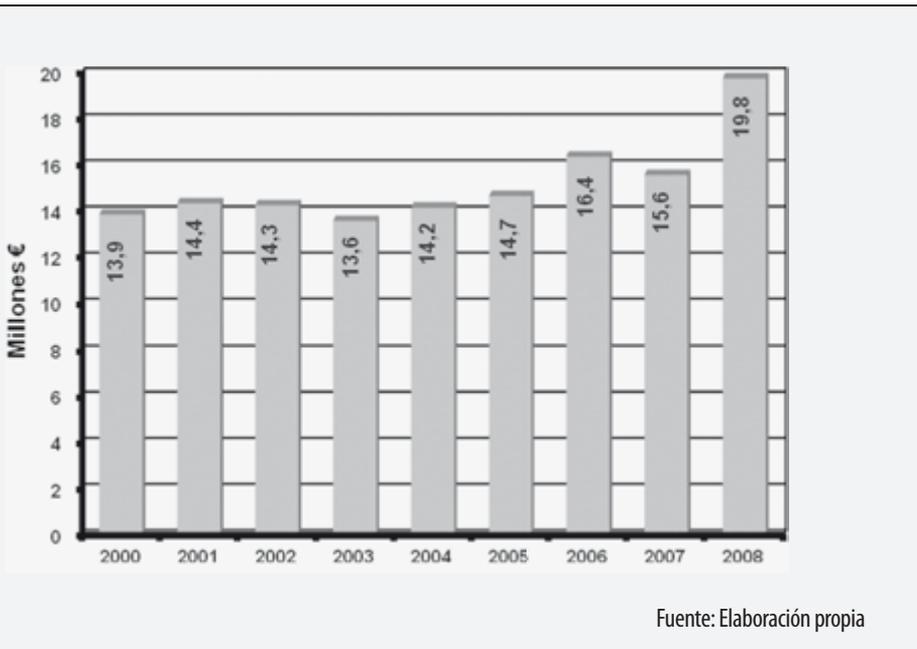
Control en el 2005, la Batería y los Paneles de Distribución Eléctrica de 125 VCC en el mismo año, el control de velocidad de bombas de Recirculación en 2007 y la sustitución de las tuberías enterradas LPCI y PCI en 2008. Esto ha representado la realización de grandes inversiones, con un perfil medio de 15 millones al año, 150 millones de euros en los últimos 10 años (**[Figura 2]**).

Siempre, desde el principio, hemos tenido una visión de que la central operase a largo plazo. Ya en el año 1989, cuando en Estados Unidos se empezó a hablar de lo que en aquel momento se llamaba “extensión de vida”, nos hicimos socios del grupo de propietarios norteamericanos que estaban empezando a trabajar en un proyecto piloto, el de Monticello, que era una planta casi igual que Garoña, con la que establecimos unas relaciones de estrecha cooperación. Y desde entonces venimos trabajando en esa idea de operación a largo plazo. Ya han pasado 20 años.

## Operación a largo plazo

Las centrales nucleares no tienen una vida definida limitada. ¿Cuál es la vida? Este esquema lo explica de manera sencilla. Si en ordenadas indicamos las características de los equipos y los materiales y cuáles son las características o las propiedades aceptables, teniendo en cuenta todos los conservadurismos, veremos cómo van

**[Figura 2] Inversiones en seguridad realizadas en la planta de Santa María de Garoña**

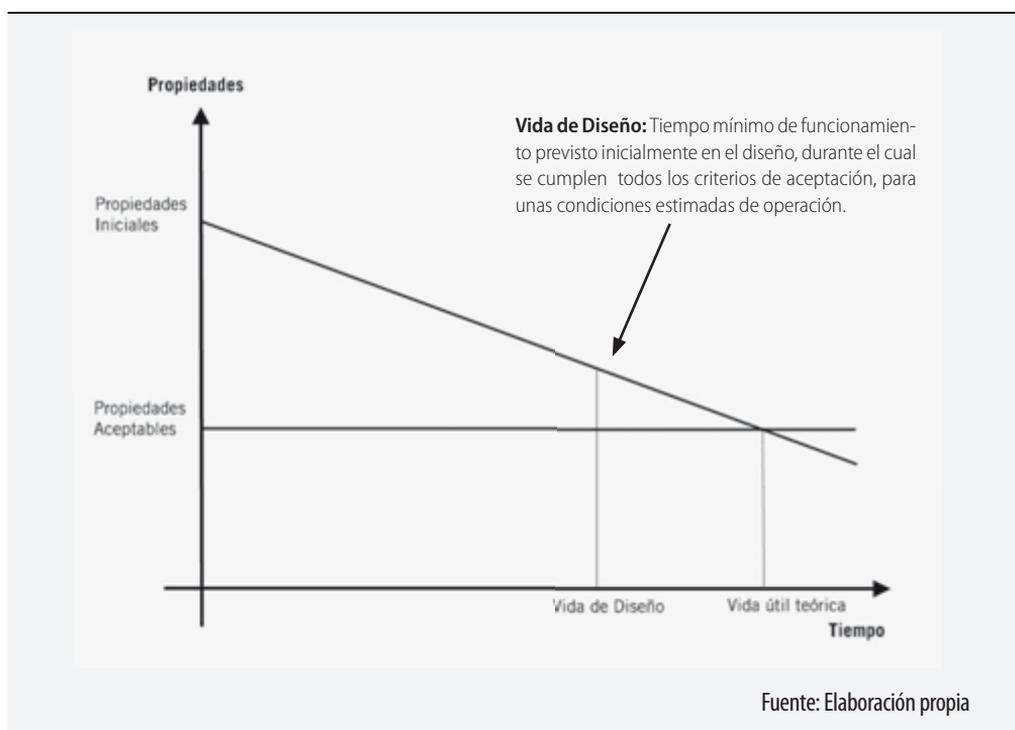


disminuyendo. Y al final, la vida útil es el tiempo que transcurre durante el cual todas las propiedades de los equipos y características de los materiales son superiores a las aceptables.

Este es el concepto de *vida útil*. La *vida de diseño* es un concepto ingenieril que se tiene en cuenta a la hora de diseñar inicialmente los componentes. Y como normalmente ocurre, las condiciones reales de funcionamiento y operación son mucho menos severas. Se trata de demostrar que la “vida útil” de una central, de Santa María de Garoña en particular, es superior a la “vida de diseño” y es superior al periodo de renovación que se solicita (**Figura 3**).

El proceso de renovación de las autorizaciones de las últimas dos décadas de la central de Santa María de Garoña es un proceso estándar en las centrales españolas. El Consejo de Seguridad Nuclear (este concepto está cada vez más extendido en Europa) renueva las autorizaciones periódicamente, después de pasar una revisión profunda de la seguridad de la instalación. Son periodos de diez años. En 1999, por primera vez en España, se concedió una autorización por un periodo de 10 años, en el que se contemplaba cuándo y en qué condiciones se tenía que solicitar el siguiente permiso si el titular quisiera renovarlo. Se nos pidió concretamente que en el año

**[Figura 3] Esquematación de los conceptos de vida útil y vida de diseño**



2006 presentáramos una solicitud, especificando cuáles eran los documentos, estudios y análisis que tenían que acompañar esa solicitud.

La solicitud comprende cuatro partes para el caso de una central que tiene que pasar la edad de 40 años de vida de diseño de alguno de sus componentes:

- **PARTE I:** *Evaluación y Gestión del Envejecimiento*, es un estudio de evaluación del envejecimiento y de demostración de que la vida útil de aquellos componentes que tienen una vida de diseño limitada de 40 años es, como mínimo, superior al periodo que se solicita.
- **PARTE II:** *Evaluación del Impacto Radiológico* para demostrar que esta nueva renovación no cambia respecto al estudio de impacto radiológico vigente.
- **PARTE III:** Revisión Periódica de Seguridad, clásica para todos los permisos de renovación.
- **PARTE IV:** *Normativa de Aplicación Condicionada*. Es la parte específica para el caso de Santa María de Garoña, para una renovación más allá de los 40 años.

## Parte I: Evaluación y gestión del envejecimiento

Resumiendo la metodología de la Parte I, que consiste en evaluar y gestionar el envejecimiento, diremos que consta de las siguientes partes:

- *Identificar el alcance de todos los componentes que se van a analizar.* En este alcance están incluidos todos los sistemas de seguridad y aquéllos que aunque no están relacionados directamente con la seguridad, indirectamente pueden tener alguna importancia, como pueden ser los sistemas de protección contra incendios o aquellos sistemas que tienen que ver con un apagón total o pérdidas de alimentaciones exteriores.
- *Identificar, entre todos esos sistemas y componentes, cuáles son los que están sujetos a evaluación.* El criterio es que todos los componentes pasivos están sujetos a evaluación indicando cuáles son sus mecanismos de degradación y cuáles son los sistemas o procedimientos, prácticas o ensayos que podrán demostrar que controlan de una forma efectiva el envejecimiento.
- *Revisar de nuevo todos los análisis de toda la documentación oficial en los que se indique alguna limitación de algún componente que tenga una vida específica, una vida limitada de 40 años de vida de diseño.* Todos esos análisis hay que revisarlos para *demostrar* que la nueva vida útil es superior a la del permiso que solicitan.

Este es el esquema de cómo se evalúa y gestiona el envejecimiento. Es similar en cuanto al alcance a lo que han hecho en Estados Unidos en todas las centrales nucleares que han conseguido extender la operación a 60 años y que se basan fundamentalmente en el NRC64 como norma del Consejo de Seguridad Nuclear Americano, NRC.

Con el resultado de esta primera parte hemos establecido 43 programas, 10 nuevos y 33 que ya existían, modificados, para que cumplan todos con los mismos alcances, requisitos, exigencias, que los criterios de aceptación que se están aplicando en Estados Unidos a las centrales que ya tienen permiso y autorización. Hemos evaluado 16.000 componentes, concretamente más de 8.000 requieren gestión de envejecimiento. Y los 43 programas están en marcha.

Desde el punto de vista de análisis que hemos tenido que revisar, se han realizado 35 nuevos análisis, porque alguno de esos componentes (el más paradigmático es la vasija) tienen una vida de diseño de 40 años, y hay que demostrar que su vida útil es superior. De esos estudios, seis están relacionados con la vasija, fundamentalmente fragilización neutrónica, otros relacionados con fatiga, fatiga térmica fundamentalmente, de la vasija, elementos internos del reactor, tuberías y grandes componentes, elementos de recirculación, la barrera de presión, contención primaria. Y un paquete final que tiene que ver con lo que llamamos *cualificación ambiental*, que es demostrar que componentes, cables, resisten la radiación y las condiciones ambientales de temperatura y presión y que pueden soportar de una forma cualificada todas esas condiciones por el nuevo periodo solicitado.

## Parte IV: Análisis de la nueva normativa de aplicación condicionada

Esta parte es específica de Santa María de Garoña. Tiene un nombre que no indica bien de lo que puede tratar: *análisis de la nueva normativa de aplicación condicionada*. Es normativa procedente de fuera de España, fundamentalmente del país de origen del proyecto, Estados Unidos, así como del Organismo Internacional de Energía Atómica. Esta normativa no ha sido exigida a las centrales nucleares en Estados Unidos para renovar su licencia hasta los 60 años pero se aplicará de forma general a las centrales que se están diseñando en la actualidad. El Consejo, en un criterio de mayores exigencias, ha pedido que evaluemos la aplicabilidad de esa normativa. Lo pidió en el 2006. En la **[Figura 4]** se muestran diferencias que existen en este momento entre las exigencias del Consejo de Seguridad Nacional y el Consejo Regulador de Estados Unidos.

El Consejo de Seguridad Nuclear nos ha pedido que analicemos la aplicación de estas nuevas normas o requisitos adicionales así como qué mejoras podemos introducir, que ya se aplican en el diseño en Estados Unidos.

Es evidente que la regulación española, para licenciar la operación a largo plazo de nuestras centrales, es mucho más exigente que la regulación de Estados Unidos.

¿Qué hemos hecho en cuanto a la aplicación de esta nueva normativa? En el año 2006 recibimos la petición. Estaba concentrada básicamente en 10 normas. Además del análisis de la aplicabilidad, enviamos al Consejo, sin estar requerido, propuestas de mejora y programas de aplicación de esas mejoras. Y además de enviar esos análisis,

**[Figura 4] Diferencias entre las exigencias del CSN y del NRC**

Requisitos exigidos por la NRC (USA)	Requisitos adicionales exigidos por el CSN
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plan de Gestión de Residuos Radiactivos</li> <li>• Plan Integrado de Evaluación y Gestión del Envejecimiento</li> <li>• Evaluación del Impacto Radiológico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Normas para el control de gases combustibles</li> <li>• Revisión de los criterios de diseño de los sistemas de alimentación eléctrica</li> <li>• Revisión del diseño de sistemas de ventilación</li> <li>• Revisión de los criterios generales de diseño (instrumentación y control, sistemas de protección, sistemas de contención y aislamiento...)</li> <li>• Revisión del sistema de protección contra incendios</li> <li>• Revisión del diseño del sistema de purificación de la atmósfera del recinto de contención</li> <li>• Revisión del diseño de independencia física de sistemas eléctricos</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

Nuclenor, con un criterio de proactividad, decidió en ese momento y sin esperar los dictámenes del Consejo, adelantar las inversiones de algunas de ellas y ejecutar la realización de los proyectos relacionados con 7 de esas normas. Este trabajo se ha realizado durante la última parada de recarga del 2009. El Consejo ha evaluado recientemente la documentación exhaustiva.

La actualidad en Estados Unidos se indica en la **[Figura 5]**.

De las 104 centrales de Estados Unidos, 52 ya han recibido autorización por 60 años. Hemos señalado las de agua en ebullición, igual que Santa María de Garoña. La última aprobada por la NRC, la Oyster Creek, es anterior a Santa María de Garoña, del año 69. El modelo es más antiguo, y ha recibido la autorización para funcionar 60 años recientemente.

## Ventajas de la operación a largo plazo del parque nuclear español

Además de las razones dadas hasta ahora que tienen que ver con la seguridad y con la fiabilidad, se ha tenido siempre un criterio y una orientación de invertir para que las centrales estén en buen estado, a largo plazo. Ésta ha sido la trayectoria de Nuclenor, por razones de carácter socioeconómico.

**[Figura 5] Centrales con diseño similar a Santa María de Garoña**

52 unidades en 31 emplazamientos 50% del total de centrales

Fuente: Elaboración propia

Cada 10 años de funcionamiento del parque actual nuclear, con la potencia nuclear que actualmente tenemos instalada y los factores de utilización o de cargas que viene experimentando el parque nuclear español, se producirían en los 10 años, aproximadamente, 600 millones de kWh. Esa cantidad es muy relevante y por hacer una equivalencia, corresponde a más de dos años del consumo eléctrico del mercado español.

Además es una energía que tiene unas características muy especiales, una energía firme, fundamental para poder garantizar la estabilidad del sistema eléctrico y permitir incluso que otras energías renovables tengan mayor penetración. La energía nuclear y las energías renovables son totalmente complementarias, se necesitan mutuamente.

Independientemente de las ventajas socioeconómicas, existe el tema del abastecimiento y de la diversificación. Esta producción energética aliviaría nuestra dependencia exterior, evitando una importación muy importante, equivalente a 400 millones de barriles de petróleo, del orden del 9% de nuestra dependencia energética.

Desde el punto de vista de sostenibilidad y concretamente de las emisiones de CO<sub>2</sub>, también es importante. Evitaría 400 millones de toneladas de emisiones de CO<sub>2</sub>.

Centrándonos en la competitividad, si lo comparamos con una posible energía de sustitución, por ejemplo de gas, la continuación de nuestro parque significaría,

teniendo en cuenta costes del 2008, un ahorro de 18.000 millones de euros, 25.000 millones de euros de nuestra balanza de pagos y ahorro de 9.000 millones en derechos de emisión.

Y desde el punto de vista del impacto social, 30.000 empleos directos e indirectos que están en este momento trabajando en toda la industria nuclear, no solamente en las centrales, sino también en las industrias españolas que tienen un componente muy importante a nivel internacional, que están exportando servicios y equipos por todo el mundo.

Concretamente, si esto lo trasladamos a la central de Garoña, los 10 años significarían 38.000 millones de KWh, que representa el 30% del consumo de Castilla y León, mucho más que toda la energía fotovoltaica que se produce en España, y tiene también esas características de energía no aleatoria que comentábamos anteriormente.

Desde el punto de vista de diversificación, sostenibilidad y competitividad, evitaría la importación de 25 millones de barriles de petróleo, se evitaría la emisión de 25 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, se ahorrarían 1.600 millones de euros en energía de sustitución (gas) y 550 millones en compras de derechos de emisión de CO<sub>2</sub>.

Por último, desde el punto de vista social, Garoña significa 1.000 puestos de trabajo directos e indirectos en la operación, el mantenimiento, la ingeniería y la operación a largo plazo de nuestras centrales. |●|

# CAPÍTULO IV

## La industria española en la energía nuclear

### 1. La industria en un mundo globalizado.

#### El caso de la energía nuclear

**Autor:** Adolfo García Rodríguez

**Institución:** Empresarios Agrupados

**Cargo:** Presidente

### 2. La industria nuclear en el campo de los bienes de equipo

**Autor:** José María Zubimendi

**Empresa:** Ensa

**Cargo:** Director General

### 3. Válvulas de seguridad nuclear

**Autor:** José Manuel García Monclús

**Empresa:** Ringo Válvulas

**Cargo:** Director de operaciones

### 4. Enusa, referente de la primera parte del ciclo de combustible nuclear

**Autor:** Roberto González Villegas

**Empresa:** Enusa

**Cargo:** Director Comercial



# La industria en un mundo globalizado. El caso de la energía nuclear

ADOLFO GARCÍA RODRÍGUEZ – EMPRESARIOS AGRUPADOS

## Globalización

La industria, en un mundo globalizado, tiene una serie de problemas. Desde la energía nuclear podríamos contribuir a resolver parte de los mismos.

La globalización es el resultado de una liberalización de la actividad económica a nivel mundial, que ha tenido lugar en los últimos 30 años. Esto ha tenido aspectos muy positivos y algunos otros negativos; se han cometido algunos errores.

Entre los positivos, ha dado origen, en los últimos 15 años, al periodo más prolongado de bonanza económica que ha habido en la humanidad en los tiempos modernos. Se han incorporado a la economía mundial cientos de millones de personas en China, en la India, y en otros países.

No obstante, ha creado algunos problemas, uno de ellos el crear una transferencia de la capacidad industrial. Los países industrializados han cedido sus capacidades a esos países emergentes. La industrialización de China se ha hecho a costa de Estados Unidos, de Europa Occidental y de otras áreas industrializadas del mundo. Algunos países, entre ellos España, se han desindustrializado de manera excesiva, lo mismo que Estados Unidos, Reino Unido, etc. Los aspectos positivos que ha tenido han hecho que no se tomaran medidas en ese sentido.

Uno de esos aspectos ha sido el control de la inflación. Al poder reducir los costes a través de las deslocalizaciones se ha conseguido que la economía se mantuviese pujante, porque a pesar de los grados elevados de desarrollo, la inflación era baja.

Otro de los problemas que ha habido se debe a la incorporación de cientos de millones de personas a la actividad económica. Se ha producido un aumento en el consumo de

materias primas, de alimentos, de combustibles fósiles, de acero, de cobre, etc. Ha supuesto una evolución al alza de los precios, bastante acusada en los últimos años, que ha creado problemas a la economía.

Todo esto ha sido el origen de fuertes desequilibrios financieros. Los países que se han hecho con la industria, China y otros, se han dedicado a exportar, y los que nos hemos desindustrializado hemos tenido que comprar. Comprábamos más de lo que vendíamos, y esto ha producido unos déficits importantes en las balanzas exteriores. Hemos tenido que desembolsar enormes cantidades de dinero por productos necesarios, como los productos energéticos en el caso de España. Dependemos en un 85% de importaciones en productos energéticos primarios, pagándolos al doble de lo que estábamos pagando antes.

Esos desequilibrios financieros se han sostenido durante unos años, hasta que en un momento determinado ha habido problemas, y se han sostenido por el acceso ilimitado al crédito. Estas condiciones han permitido que esos flujos financieros hacia esos otros países se reciclasen de nuevo hacia los países con déficit en materia de préstamos. Y la economía iba bien, con tipos de interés bajos. Esta situación nos ha permitido financiar todo esto mientras la economía iba bien, pero llega el momento de darnos cuenta de que alguien estaba haciendo trampa. Y cuando alguien hace trampas en el sector financiero, viene la pérdida de confianza y la consecuente crisis en que nos encontramos. Esta pérdida de confianza en el sector financiero ha repercutido en la economía real.

## España

A través de la globalización, España ha vivido aspectos positivos y negativos. Nos hemos integrado en el mundo y se han modernizado sectores enteros: el sector financiero, las telecomunicaciones, el sector eléctrico, la construcción, infraestructuras, etc. Y nos hemos encontrado de repente con unas empresas, primeras del mundo en sus áreas, muy exportadoras e inversoras en el extranjero, descuidando el sector industrial. Durante demasiados años, desde la entrada en la Unión Europea en el año 1986 hasta la fecha de hoy, hemos pasado de un impacto de la industria en el producto interior bruto del 28% al 17% a finales de 2008. Y en el 2009 ha habido una nueva enorme caída de la actividad industrial.

Podemos suponer que esto es una situación provisional, pero el hecho es que año tras años ha caído la actividad industrial en el producto interior bruto. Y llega un momento en que eso no se sostiene, un país desarrollado no puede estar sin industria. Nos hemos volcado en el área de servicios, pero tampoco al final se va a poder sostener si no hay una industria que lo apoye. Hay que subir por encima del 20% del P.I.B., tendiendo al 25%.

Nuestro desarrollo se basa en consumo interno. Esto, junto a la excesiva dependencia energética del exterior (85% y las oscilaciones), nos han llevado a un déficit exterior del orden del 10% del P.I.B. y como consecuencia de esto, a un fuerte endeudamiento. Afortunadamente no es un endeudamiento público, pero sí del país en general. Hemos estado viviendo por encima de nuestras posibilidades. Y además, como tenemos una industria muy débil, partimos de una situación difícil para poder pensar en una recuperación rápida. Ésta es la razón por la que se dice que vamos a ser de los últimos en salir de la crisis. Hay otros países que tienen otros mecanismos para apoyarse en la recuperación, como Estados Unidos y otros europeos más industrializados.

## ¿Necesitamos una política industrial?

Desde los años 50 hemos vivido diferentes situaciones. En los 50 había un sistema de autarquía. Lo hacíamos todo, creábamos industrias... pero eso no funcionó, aunque se instauraron algunas industrias importantes, como la del automóvil. En la época siguiente, en los 60 y 70 hubo una pequeña apertura, y aunque no había autarquía, había una fuerte protección. Hemos acabado creando una industria del automóvil importante, pero con el punto débil de que las sedes centrales, las matrices, no se encuentran en España. Eso, dentro del concepto ideológico de la centralización, parecía que no era importante, pero ahora, con la crisis, vemos que sí es importante. Vamos a ver cómo salimos adelante con la industria del automóvil, que representa hoy día el 40% de las exportaciones españolas, además de dar mucho trabajo. La industria naval se creó en este periodo. Se hicieron petroleros, éramos de los primeros del mundo, pero luego no supimos reconvertir el sector de la industria naval civil. Y cuando debíamos de haber hecho buques de crucero, teniendo las instalaciones adecuadas en Puerto Real, no se tomaron las decisiones adecuadas, por lo que fuese no se atrevieron y perdimos el tren de la industria naval. Así ocurrió en otras áreas.

Llegamos al periodo de liberalización de los 90. En general no nos ha ido mal, siendo uno de los países con una economía más liberalizada de Europa. Nos iba bien, y a partir de ahí hubo gente que pensó que la mejor política industrial era la que no existía. Como eso no era verdad, desde los 90 hasta hoy nos hemos quedado sin industria.

¿Qué podríamos hacer? ¿Cuáles son las medidas de apoyo para la industria? Ya no podemos volver a la autarquía, no podemos tener una fuerte protección, porque eso “ya no se lleva”. Hay que tomar otras medidas.

Podrían ser medidas de apoyo indirectas: mejorar el nivel de educación de los jóvenes en todos los estamentos, desde la primaria a la universidad; apoyar en serio la investigación y el desarrollo, que aún sabiendo todos los partidos lo importante que es, lo apoyan poco, habiendo sólo un 1% del PIB dedicado a I+D; las infraestructuras se

han mejorado, pero hay que seguir trabajando con vías de comunicación modernas, llevar energía donde se necesite, redes de comunicaciones adecuadas, puertos, etc.; tener seguridad jurídica, un sistema judicial que funcione y que sea eficaz, y ahí sí que tenemos muchos problemas por resolver. Y por último, que el país sea fiable, que cuando se establezcan políticas y leyes se mantengan, porque si no los inversores saben que hacen una inversión en base a unos determinados criterios y dos años después se los cambian, de manera que lo que era un buen negocio deja de serlo. Todas estas medidas indirectas habría que hacerlas.

Y como medidas directas, hay que tomar algún tipo de protección, porque otros lo hacen y funciona. Por ejemplo, el automóvil: en este momento se están dando unos apoyos directos a la compra de automóviles, aunque sea desafortunado que haya que hacerlo, porque somos los segundos productores de Europa, pero como no ayudemos, se van a ir a otro sitio donde sí se ayude. El sector naval militar lo está haciendo muy bien. Bajo la dirección de la marina se están construyendo buques de guerra de primera calidad internacional que se pueden exportar y se están exportando. Fragatas, grandes transportes militares, con los submarinos S80, que los franceses nos quieren dar al traste con un importante proyecto... Estas naves se necesitan para las misiones que tienen nuestras fuerzas armadas, pero como están bien hechos, se pueden exportar, y se están exportando a países industrializados. Estos proyectos hay que apoyarlos.

## La energía

El sector de la energía es un sector estratégico para España. Debíamos apoyar fuertemente el I+D y participar en proyectos internacionales de desarrollo, no sólo en energía nuclear.

En el sector aeroespacial hemos incorporado nuestra industria en una gran empresa europea, EADS. Por ejemplo, la antigua CASA está incorporada ahí, y todos los temas espaciales también. Habría que apoyar el que tuviésemos más influencia en esa empresa, hoy en día controlada por franceses y alemanes, nosotros tenemos sólo un 5,3%, pero una capacidad de compra que nos permitiría apoyar una mayor participación. Habría que gastar en investigación y desarrollo que fuese de utilización para esa área, y que contásemos más.

La energía condiciona el desarrollo. La globalización, la incorporación de países al desarrollo va a llevar necesariamente a un consumo creciente de energía. Los países que consumían muy poco, como China, la India y otros, van a necesitar energía para conseguir desarrollarse. Si no, no es posible.

El problema es que tenemos una excesiva dependencia de combustibles fósiles. Aproximadamente el 80%. Esos combustibles fósiles no son renovables. Unos antes,

otros después se irán acabando. Y antes de acabarse nos van a dar muchos problemas. Ya nos los han dado en años anteriores, cuando han cerrado el gas los rusos, o cuando los precios del petróleo se han duplicado. Cuando la demanda supera la producción, se producen desequilibrios de este tipo.

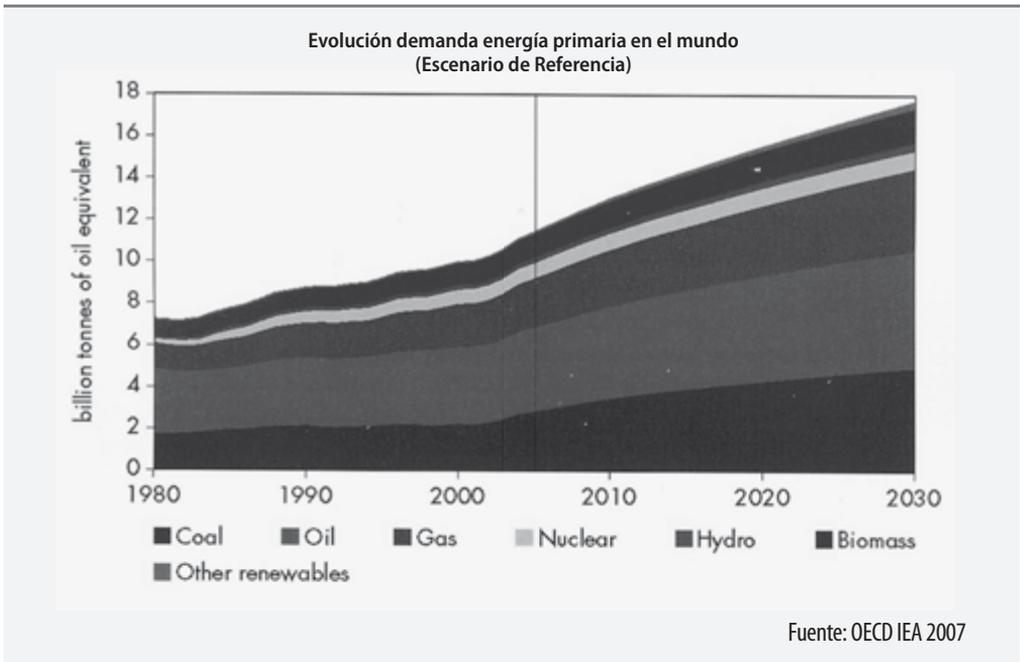
Además, los combustibles fósiles tienen un efecto negativo en el medioambiente.

Así que lo que hay que hacer es desarrollar nuevas fuentes energéticas, pero no sólo eso, hay que desarrollar técnicas de combustión limpia, porque ese enorme volumen de reserva de combustibles que tenemos, aunque sea limitados en el tiempo, se tienen que utilizar de una manera limpia.

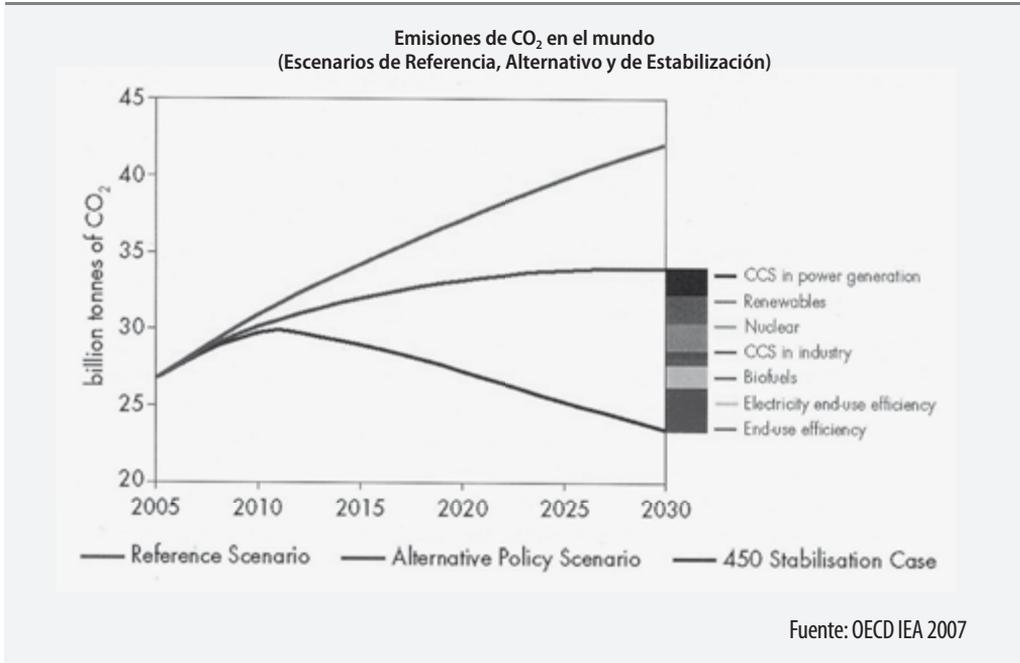
Vamos a ver lo qué dice el informe WEO-2007 de la Agencia Internacional de la Energía (OECD). Son tres gráficos muy conocidos, representados en las [Figuras 1, 2 y 3].

Este es el escenario de referencia. Si las políticas que se vienen aplicando siguen como hasta ahora, con el crecimiento de los nuevos países, en el 2030 habremos crecido un 50% en el consumo de energías primarias, pero la dependencia de los combustibles fósiles será la misma. Habremos producido algo más de energía nuclear y energía hidroeléctrica, algo más de biomasa, y otras renovables. Con eso mantenemos ese 80%.

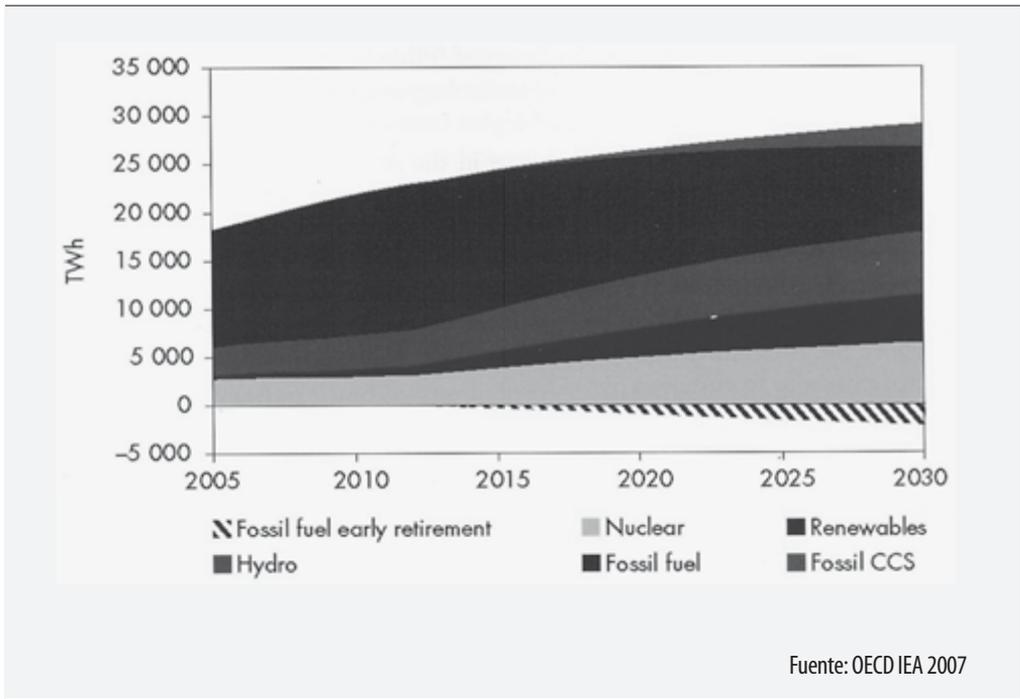
[Figura 1] Evolución de la demanda de energía primaria en el mundo



[Figura 2] Emisiones de CO<sub>2</sub> en el mundo



[Figura 3] Generación eléctrica, escenario de estabilización



En emisiones de efecto invernadero nos encontramos que, en la política de mantener el escenario de referencia sería la curva superior. Si estamos emitiendo 27.000 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> al año, en el 2030 nos encontramos con 42.000 millones. Esto no es sostenible, hay que reducirlo. La Agencia ha previsto un escenario alternativo que consiste en la aplicación de todas las “buenas intenciones” de los Estados. Si las aplicáramos, acabaríamos estabilizando las emisiones hacia el año 2025. Se estabilizan las emisiones, pero no el contenido de CO<sub>2</sub> en la atmósfera. Actualmente tenemos 380 partes por millón de contenido, y seguiría subiendo. La Agencia ha estudiado un tercer escenario: consiste en conseguir estabilizar esos 380 ppm que tenemos ahora a 450. No mantenemos, sino que empeoramos. Ese es el “escenario de estabilización”. Para conseguir esto, tenemos que conseguir disminuir drásticamente las emisiones de forma que en el 2030 estemos en 23.000 ó 24.000 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> sobre los 27.000 que tenemos ahora. Tendremos que recurrir para eso a implantar más centrales de generación de energía eléctrica con secuestro de CO<sub>2</sub>, hacer un esfuerzo adicional en renovables, hacer un esfuerzo en nuclear, en la industria para secuestro de carbono, más biocombustibles y el resto, ahorro energético. Si hiciésemos todo eso, conseguiríamos en el 2030 la estabilización a 450 ppm de CO<sub>2</sub>.

Este escenario de estabilización supone, para la generación de energía eléctrica lo que se ve en la gráfica. En primer lugar, la retirada de las centrales antiguas de carbón, con mucha polución y poca eficiencia; sustitución de éstas por centrales con secuestro de carbono; en segundo lugar, potenciar la energía nuclear. Supondría más o menos el doble que la producción actual, lo que sería un relanzamiento considerable. Entre los años 20 y 25 necesitaríamos iniciar la construcción de 40.000 MW al año; hacer un esfuerzo en renovables y la hidráulica en aquellas zonas del planeta donde se pueda.

Con todo esto conseguiremos una considerable reducción de los combustibles fósiles. Es un objetivo difícil de conseguir pero deseable.

## Costes de generación eléctrica de base

La generación de energía eléctrica debe ser segura y fiable pero también económica. No vale producir electricidad a cualquier precio. En España ya está pasando: una energía cara y una mano de obra que tampoco es barata.

En la **|Figura 4|** se muestra el resultado de un estudio reciente, hecho por una consultora en Estados Unidos para una serie de empresas eléctricas. Han estudiado diferentes opciones.

Consideran en primer lugar la energía nuclear. El coste de capital en la parte superior y el coste medio nivelado en la inferior. Y comparamos con centrales de carbón

**[Figura 4] Comparación de costes de distintas fuentes de energía**

Brattle Group Analysis of Generating Costs							
	Nuclear	SCPC	SCPC w/CCS	IGCC	IGCC w/CCS	Gas CC	Gas CC w/CCS
Capital Cost (\$/kWe)	4,038	2,214	4,037	2,567	3,387	869	1,558
Levelized Cost (\$/MWh)	83.40	86.50	141.90	92.20	124.50	76	103.10

SCPC = supercritical pulverized coal; CCS = carbon captures and storage; IGCC = integrated gasification combined cycle; CC = combined cycle

Fuente: Brattle Group

pulverizado supercríticas, con la mitad de inversión, pero un coste final del KW/h ligeramente superior. Si esas estaciones supercríticas además tienen captura de CO<sub>2</sub>, se dispara el precio. Las centrales de gasificación de carbón son algo más caras de inversión que el carbón pulverizado y el precio final también. Si le añadimos secuestro de CO<sub>2</sub>, subimos a 124,50 dólares. La de gas es la que les sale más barata, con menor inversión y menor coste medio, pero vuelve a elevarse si capturamos el CO<sub>2</sub>.

Esto nos sirve de referencia, porque son cifras que se manejan a nivel internacional.

## Energía e industria en España

Las opciones de generación de base en España son el gas y la nuclear, no nos dejan poner carbón. El carbón sería bueno si estuviésemos haciendo captura de CO<sub>2</sub> pero eso no está disponible todavía. Las implicaciones económicas son muy distintas (**[Tabla 1]**).

El coste de inversión de gas es mucho más bajo que la inversión en nuclear. La participación nacional en el gas es del 50%, aunque se están haciendo muchas centrales de gas. En nuclear podría haber inversiones del 80%, como se tuvo en el pasado, cuando se hacían centrales nucleares. El precio del MWh en nuclear es estable y el precio del gas es ligeramente inferior al nuclear pero muy inestable porque depende de las oscilaciones del combustible, que suponen el 80% del precio del MWh. En la nuclear, la repercusión del precio del combustible es del orden del 7%. Y de este 7%, sólo la tercera parte corresponde al coste del uranio. El resto es el enriquecimiento y la fabricación del combustible, no de la materia prima.

**[Tabla 1] Comparación gas y nuclear**

	GAS	NUCLEAR
Coste de Inversión (KWe)	700 €	3.000 €
Participación Nacional (Inv. Mat.)	50%	85%
Coste MWh	65 €	62 €
Coste Combustible	~ 80 %	~ 7 %

Fuente: Elaboración propia

En España, en este momento, estamos descendiendo en consumo. La demanda eléctrica ha descendido en lo que va de año por encima del 9%. Esperemos que eso sea una circunstancia temporal y que en el futuro se normalice y crezcamos como siempre o un poco menos. Lo razonable sería crecer un 2% al año. Teniendo en cuenta que habrá que retirar centrales obsoletas, tendremos que construir entre 10.000 y 15.000 MW nuevos de generación de base al año. Suponiendo que vayamos a construir 15.000 MW en los próximos 10 ó 15 años, vamos a analizar dos alternativas: si las construimos en gas o en nuclear (**[Tabla 2]**).

Esto tendría un gran impacto en nuestra economía. Podríamos ayudar a la industria. No es una especulación, ya lo hemos vivido y sabemos que es así. A pesar de que llevamos 20 años parados, la industria nuclear sigue viva.

**[Tabla 2] Dos alternativas: gas y nuclear**

	GAS		NUCLEAR	
<b>INVERSIÓN INICIAL</b>		10.500 M €		45.000 M €
<b>PARTICIPACIÓN NACIONAL</b>		5.775 M €		38.925 M €
Ingeniería y servicios	5%	525 M €	8,5%	3.825 M €
Bienes de equipo	16%	1680 M €	34%	15.300 M €
Construcción	24%	2.520 M €	34%	15.300 M €
Otros costes de proyecto	10%	1.050 M €	10%	4.500 M €

Fuente: Elaboración propia

Pero, ¿qué pasa con los pagos al exterior? Se ve en la [Tabla 3], comparando qué pagamos al exterior de los 10.500 millones de euros de gas o si hacemos energía nuclear, de los 45.000 millones de euros.

La fabricación del combustible nuclear se hace en España, por lo que los 340 millones anuales corresponden a uranio y su enriquecimiento.

## Conclusión

Necesitamos un sector industrial potente, y algo tenemos que hacer. Tenemos que apoyar a la industria respetando las reglas del juego. Pero, ¿qué hacen otros países? Tenemos el ejemplo de Francia, que es el único país que, en base a la iniciativa pública, ha creado una gran industria en todos los sectores desde la Segunda Guerra Mundial. Y sigue apoyándola y, aparentemente, cumpliendo las reglas, hasta en el automóvil está presente la iniciativa pública. En el sector naval, en defensa, en la electrónica, lo nuclear, lo espacial, la aeronáutica... en todo.

En Estados Unidos también hay fuertes apoyos, aunque son indirectos, a través de los grandes programas nacionales. Hay unos enormes fondos que van a la defensa y repercuten después en la industria. En el programa espacial lo mismo. Una gran industria espacial en base al programa oficial. Igual en energía.

Hay que evitar las subvenciones porque con ellas no se va a ningún sitio, nos arruinamos y arruinamos a la industria. Hay que desarrollar la educación, la I+D, apoyar a la industria, pero no a base de subvenciones.

Y la opción nuclear, pero tiene una serie de inconvenientes, fundamentalmente que es intensiva en capital, hace falta comprometer enormes inversiones desde el principio. Si son productivas no hay problema, pero está la inseguridad constante de que paren las centrales.

[Tabla 3] Pagos al exterior de gas y nuclear

	GAS	NUCLEAR
INVERSIÓN INICIAL	4.725 M €	6.075 M €
COMBUSTIBLE (7.500 h/año)	5.000 M €/año	340 M €/año

Fuente: Elaboración propia

La ventaja es que, precisamente, esas grandes inversiones que requieren nos sirven para reactivar nuestra economía. Si tuviésemos la capacidad de captar esas inversiones, al ser productos altamente productivos no habría problemas, siempre y cuando se fíen los inversores de que es un negocio a largo plazo. |•|



# La industria nuclear en el campo de los bienes de equipo

JOSÉ MARÍA ZUBIMENDI – ENSA

## Introducción

La industria nuclear básica, tanto la ingeniería como la de los bienes de equipo: el combustible, accesorios, equipos primarios y válvulas, está muy viva. A pesar de las dificultades que supuso estar dimensionadas para tener un funcionamiento según el modelo francés, y sufrir el parón de principios de los años 80, de tener el país una proyección de energía de base de origen termonuclear a encontrarse con todas las alteraciones que han ido pasando desde entonces. Las distintas empresas del sector se han enfrentado a una serie de dificultades, que cada una las ha ido resolviendo como ha podido, pero el resultado es una “selección natural” que ha dejado una industria nuclear, en todos los campos, de lo mejor del mundo.

El campo de los bienes de equipo fue un sector muy activo. Las primeras centrales, tanto Garoña como Zorita, tuvieron un componente de importación bastante alto. Pero crearon en España, tanto en las ingenierías como en los fabricantes, unos nuevos conceptos, unos nuevos estándares, unas especificaciones de calidad que no eran conocidos. Les hizo ponerse al día, invirtieron y trabajaron muy bien, tanto en la generación I como en la generación II, Almaraz, Ascó, Garoña y Cofrentes. Y es en la generación III, donde ya se crea la gran industria pesada y de combustible. Se crean una serie de organismos reguladores que nos ponen en muy buena posición para reactivar el mercado nuclear.

Esa industria, que funcionó muy bien a finales de los 60 y en los 70, sufrió mucho por el parón del programa nuclear y algunas han desaparecido. Las que lograron salir al exterior tienen un renombre y una proyección internacional que les dan solidez y fiabilidad frente a una posible reactivación nuclear. En Italia están reactivando su programa nuclear, pero les va a llevar años incorporar a su industria, ya que la desmantelaron. Para nosotros, el inicio sería inmediato, tanto en el diseño, como en los suministros, o el estudio de los emplazamientos.

## Ensa, la empresa

La ubicación de la empresa está en un lugar privilegiado, en el fondo de la bahía de Santander, al lado del aeropuerto y con acceso directo al mar. Tiene una capacidad de carga de componentes actualmente de casi 1.000 toneladas, y está previsto que en una ampliación de grúas, alcance hasta 1.500, necesarias para el transporte de los grandes componentes que los diseños de las nuevas centrales nucleares requieren. Es la única empresa del sector en el mundo que puede cargar directamente sus productos en barco y mandarlos a cualquier sitio.

Ensa fue creada en 1973 en un concurso público al que accedieron varias empresas privadas. Crearon Ensa con una serie de características que hoy, los que hemos heredado la empresa, gozamos: un emplazamiento privilegiado, con instalaciones modernas y apropiadas para el producto que se maneja. Tuvo mucha actividad recién creada, haciendo los componentes para todas las centrales españolas de tercera generación. Desgraciadamente, la mayoría de esas centrales se han quedado en el camino. Los componentes han sido de duración y buen rendimiento, comparándolo con componentes de la misma generación hechos en otros países.

Ensa nace en principio para suministrar el modelo español de suministro energético, que era similar al modelo francés, con una aspiración de construir unas 20 centrales en los años 80. Se quedan sólo en las que estaban hechas a principio de los 80, que es el parque que tenemos actualmente, y se paraliza la producción de centrales en España. Esto obliga a Ensa a reconsiderar sus actuaciones. Inicia actividades de servicios, ya que las centrales necesitan servicios de recarga, de movimiento de componentes, de mantenimiento, de alguna pequeña reparación, y además crea su división de servicios. Inicialmente Westinghouse participa al 50%. La empresa se denomina ENWESA. Actualmente trabaja en España, pero también en el exterior.

Hoy por hoy Ensa está exportando el 80% de su producción de componentes. Los componentes que fabrica Ensa son principalmente del circuito primario. Ha construido y está en periodo de construcción de 149 componentes primarios, entre vasijas, generadores de vapor, presionador, tubería primaria y parte del sistema de calandria para el agua pesada. También tiene componentes para el combustible gastado. Además, dispone de referencias en más de 73 centrales en el mundo, la mayoría en Estados Unidos. Ensa es el principal suministrador de componentes de reposición en Estados Unidos, para una serie de los generadores de vapor que no funcionaron. Está presente en prácticamente todos los países con programas nucleares.

Ensa ha estado auditada por los principales entes reguladores de los países con programas nucleares. Tiene múltiples cualificaciones, entre ellas, las principales que se consideran para componentes primarios, como son las otorgadas por ASME y homologaciones alemanas, francesas y chinas.

Además de los componentes primarios: vasijas grandes y pequeñas y de agua en ebullición, generadores de vapor, también hace componentes para el almacenamiento de combustible gastado temporal en piscinas, en seco, a medio y largo plazo. Asimismo, participa en desarrollos de fusión, haciendo piezas para un laboratorio alemán. Se está estudiando un criostato para un desarrollo japonés y forma parte de los distintos consorcios que se están formando para ITER. Participa en desarrollos de centrales de la generación IV, como la diseñada en conjunto con Empresarios Agrupados, y aunque de momento está parado, estamos construyendo el reactor de gas de alta temperatura para Sudáfrica. Por último, colabora en un desarrollo, que Westinghouse está haciendo internacionalmente, para un reactor de potencia media, donde todo está integrado en una gran vasija.

Ensa, además de estar suministrando a la industria nuclear convencional de segunda y tercera generación, también está en reactores de generaciones posteriores.

En la **[Figura 1]** el Presidente del Gobierno, José Luis Rodríguez Zapatero, está testificando la firma de un contrato que se acaba de firmar en China. Aunque en España no haya mucho “ambiente nuclear”, da pie a pensar que puede haber algún horizonte para dicho sector.

**[Figura 1] Firma de contrato con China**



Fuente: Elaboración propia

## Productos de Ensa

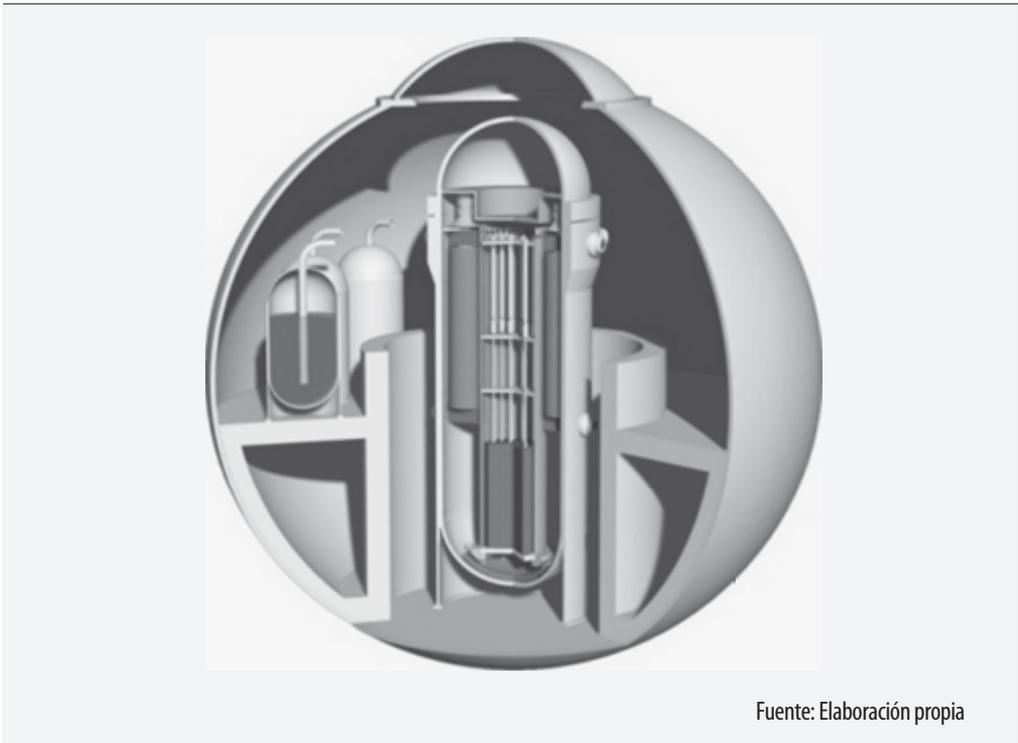
Se ha trabajado en un reactor de cuarta generación, IRIS (**Figuras 2 y 3**), productor de helio caliente por un sistema de combustible embebido en unas bolas de grafito que contienen todos los productos de fisión, todas las emisiones, y lo convierten en un reactor limpio, ya que todas las emisiones están muy confinadas.

Ha sido un proyecto muy ambicioso de competencia internacional, en colaboración con grupos como Areva, Mitsubishi y otros, todos ansiosos de conseguirlo, como Empresarios Agrupados y Ensa. Se ha diseñado y se está a medias en su fabricación.

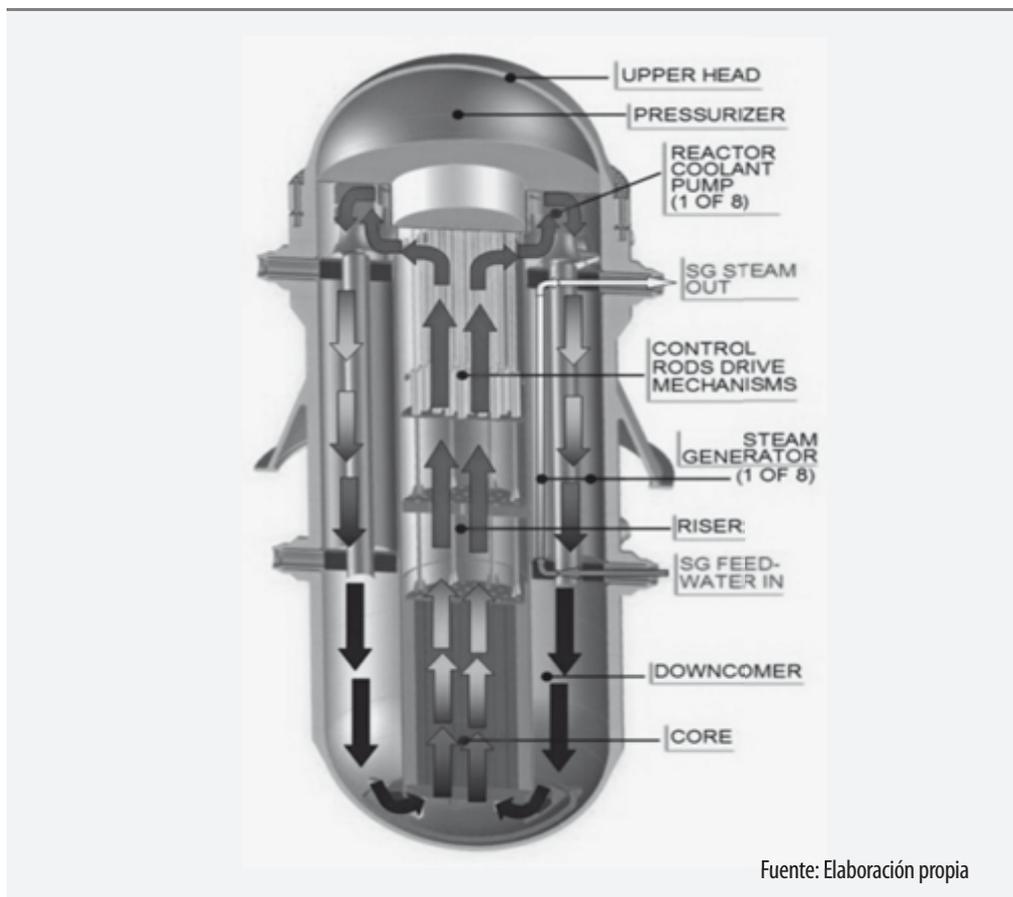
Este reactor tiene una novedad, que en principio era un reto, y es que el gas caliente a temperaturas de 800-900°C, producido directamente en el reactor se pensaba turbinarlo en una turbina de gas sin pasar por un ciclo previo más convencional, de producción de vapor con un sistema de intercambio de calor.

El reactor IRIS es un reactor integral donde todo está confinado en un recipiente a presión, de 1.300 toneladas y un diámetro de 7 metros, 30 metros de altura. Sólo se podrá fabricar en instalaciones como Ensa, prácticamente única en el mundo.

**[Figura 2] Reactor IRIS**



|Figura 3| Reactor IRIS



Por su integridad y su potencia media, habrá redes que en el futuro necesitarán este tipo de componentes.

En este momento hay un paro de rediseño que probablemente vuelva a un sistema más convencional, usando el gas a alta temperatura, pero no tan alta, produciendo vapor convencionalmente. Ésta es una línea de reactores que puede tener futuro y es de aplicación dual, tanto para producir energía eléctrica como gas a alta temperatura, que tiene muchas aplicaciones. Junto a Empresarios Agrupados, somos pioneros de esta tecnología en el mundo.

Otros productos son los relacionados con el combustible gastado.

Fundamentalmente, son productos relacionados con el almacenaje en seco. Los contenedores, como el indicado en la |Figura 4|, fabricado para la industria china, permiten llevar el combustible gastado desde Daya Bay (cerca de Hong Kong) hasta

**|Figura 4| Contenedor de almacenaje en seco**



Fuente: Elaboración propia

el centro de reprocesamiento de Lanzhou (Mongolia interior) a una distancia de unos 3.000 Km y media docena de viajes.

Otro producto son los bastidores para el combustible gastado. El diseño ha tenido mucho éxito en todo el mundo. Se han instalado en Taiwán, Finlandia, China, Corea, Sudáfrica y ahora estamos concursando en Francia, en un proyecto que tiene EDF para aumentar la densidad de sus piscinas.

## Instalaciones de Ensa

Las instalaciones de Ensa (**|Figura 5|**) son básicamente un taller de construcción de unos 40.000 m<sup>2</sup> con oficinas y un centro tecnológico avanzado, con un laboratorio de desarrollos de soldadura.

La nave pesada tiene una altura de 25 metros libres. Para probar algunas vasijas necesita más altura, se dispone de un pozo que permiten tener 8 metros adicionales. Tiene una capacidad de embarque de 900 toneladas, que se están ampliando a 1.300 para cumplir los compromisos adquiridos con el reactor sudafricano y con el reactor nuevo de General Electric, de 1.200 toneladas.

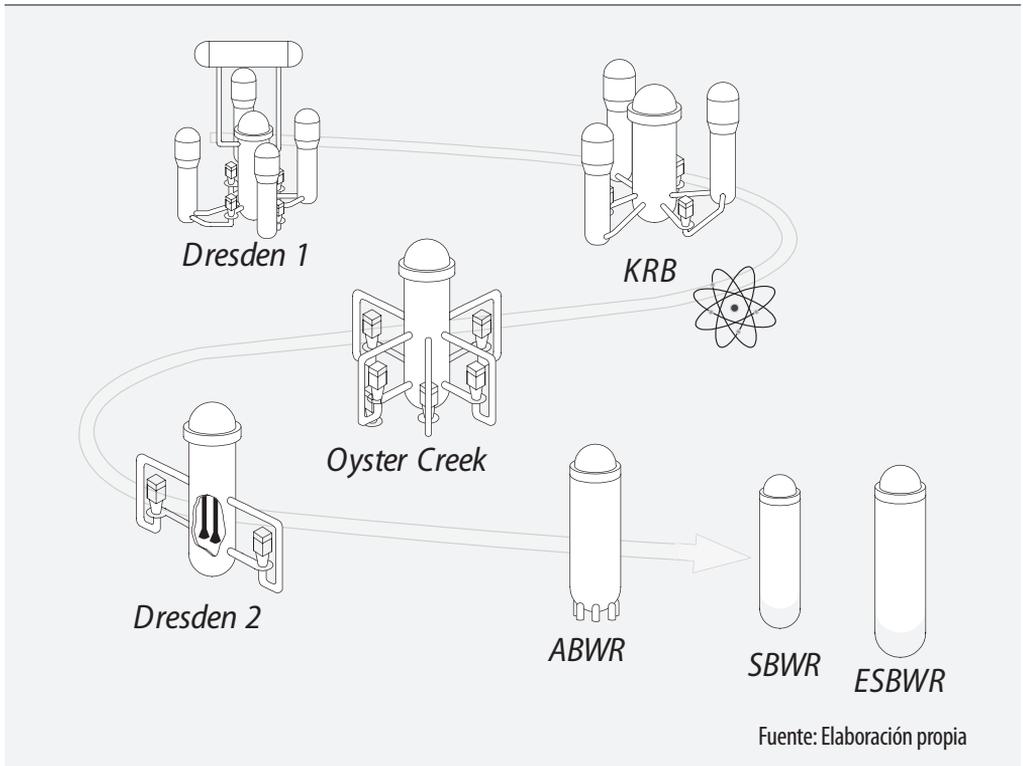
En las **|Figuras 6 y 7|** se muestra cómo han ido evolucionando los componentes.

**[Figura 5] Instalaciones de ENSA**



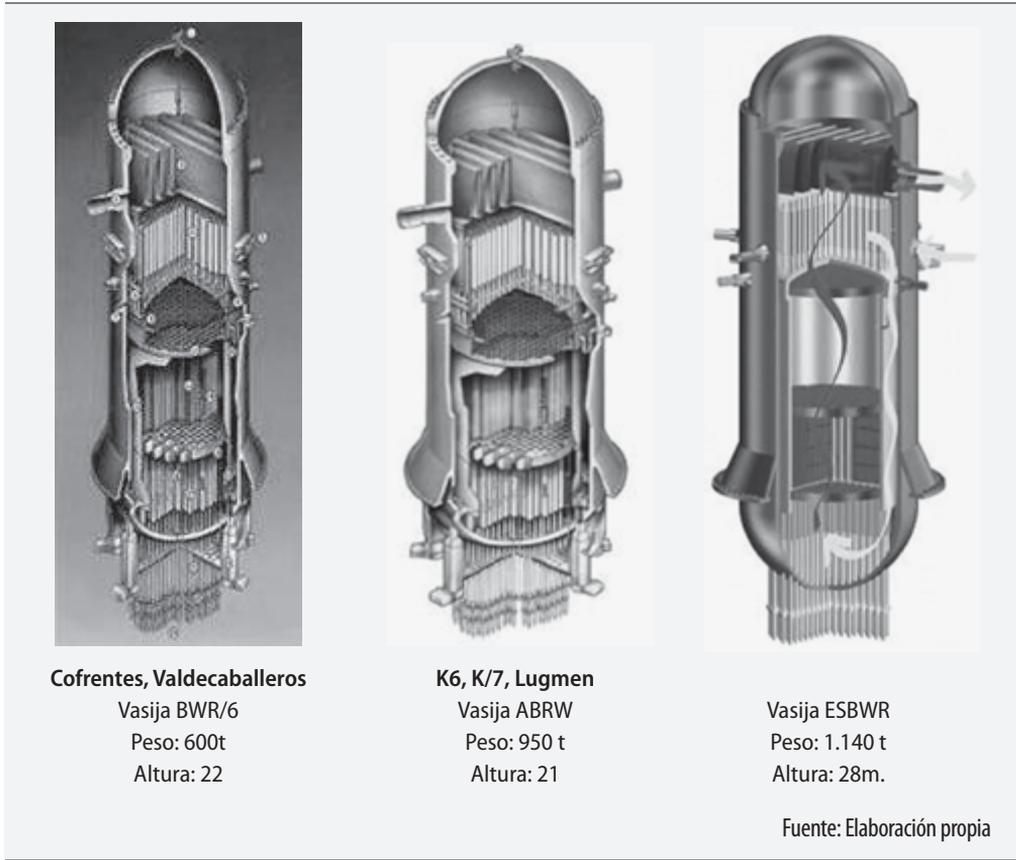
Fuente: Elaboración propia

**[Figura 6] Evolución de componentes**



Fuente: Elaboración propia

**[Figura 7] De la vasija de Valdecaballeros al reactor pasivo de General Electric**



Esto ha obligado a una serie de inversiones a la ampliación de la fábrica, pero pone a Ensa en una posición única para ser un suministrador de futuro.

La planta tiene 25 años, por lo que ha habido que reubicar algunas actividades. No obstante, la fábrica tiene una capacidad de expansión grande, y vamos a aprovechar un proyecto de Empresarios Agrupados para mover el área limpia, sacar una nueva y trasladar las oficinas fuera. Así se ganarán unos 10.000 m<sup>2</sup> y en una segunda fase de ampliación se aumentará el tamaño de las dos naves, con 70.000 m<sup>2</sup> más y una capacidad que satisface las necesidades de un nuevo resurgir de la energía nuclear que tanto se necesita.

La nueva área limpia y las oficinas del taller ya se han empezado. El resto está pendiente de lo que ocurra en los países con nuevos proyectos, que puede llevarnos a duplicar nuestra capacidad de fabricación.

Esto es una pincelada de lo que es hoy la industria de bienes de equipo, que es fundamentalmente la construcción de componentes primarios para centrales. |●|

# Válvulas de seguridad nuclear

JOSÉ MANUEL GARCÍA MONCLÚS – RINGO VÁLVULAS

## Introducción

La industria de las válvulas es una industria modesta en comparación con otras actividades en los equipos principales de una central nuclear, como pueden ser un generador de vapor, un reactor, bombas de refrigeración, condensadores, un presionador, etc., pero tiene su importancia.

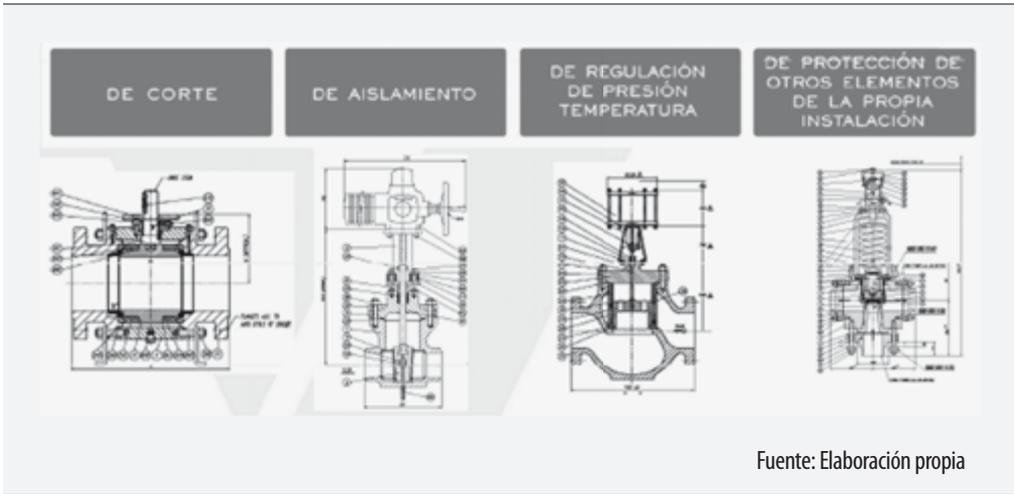
Tienen dos características fundamentales: la primera es que en una central nuclear, o en cualquier instalación industrial en general, hay gran cantidad de ellas. Y la segunda es que las válvulas son elementos que están protegiendo los elementos principales, asegurando la operatividad y la fiabilidad de la instalación. Eso, unido a la gran cantidad que hay, hace que desde un punto de vista probabilístico sea un elemento con grandes posibilidades de fallos. Es un elemento que debe ser controlado y seguido para asegurar su funcionamiento y la seguridad.

Las válvulas son equipos con una gran tradición de fabricación en España, tanto para la industria nuclear como para otras.

¿Qué es una válvula? Es un elemento mecánico que genera una restricción en un fluido. Puede ser manual o automático y, colocado en una tubería por la que circula el fluido, realiza las funciones necesarias para el mantenimiento de los parámetros de funcionamiento de la instalación, tanto los parámetros relacionados con la seguridad de la planta como aquellos parámetros necesarios para la correcta operabilidad y fiabilidad de la instalación.

Las más sencillas son las válvulas de corte: dejan o no dejan pasar el fluido. Pueden ser de aislamiento, donde el corte tiene que ser muy rápido, para proteger algún elemento o impedir que el fluido llegue a algún sitio que no debe. Hay válvulas de regulación de presión y temperatura. Y las más importantes desde el punto de vista de la seguridad, las válvulas de protección de elementos críticos de la instalación (**Figura 1**).

**|Figura 1| Tipos de válvulas**



Además de ser elementos puramente mecánicos hay válvulas en muchos casos que van provistas de otros elementos de instrumentación y control:

- Actuadores eléctricos, que son motores que hacen que la válvula abra y cierre, se mueva, etc.,
- Finales de carrera, que dan indicaciones,
- Posicionadores, transmisores de posición, etc.

En el caso de las centrales nucleares, todos estos equipos de tipo eléctrico unidos al equipo mecánico hacen que los requisitos de diseño y las calificaciones del conjunto que se piden, de acuerdo con los postulados de diseño de la central, sean más complejos que el elemento puramente mecánico.

## ¿Dónde se colocan las válvulas?

Toda la industria necesita válvulas: la industria del petróleo y gas y la de los combustibles fósiles son grandes consumidoras de válvulas, así como instalaciones de refinería, petroquímica, pozos de extracción de petróleo y gas, conducciones de gas y petróleo, estaciones de bombeo y compresión, plantas de tratamiento de derivados del petróleo, plantas de licuefacción de gas, etc.

En la producción de energía tenemos las centrales nucleares, las centrales térmicas convencionales, las centrales de ciclo combinado, incluso las centrales termosolares que hoy día se están montando, algunas necesitan válvulas con diseños muy similares a los de las centrales nucleares y las centrales hidroeléctricas.

Y otro tipo de industrias, como las plantas papeleras, la industria alimentaria o la industria azucarera. Todas en general requieren un gran número de válvulas.

## Las válvulas en una central nuclear

Depende mucho del diseño y de la potencia de la central, pero estimamos que una central nuclear de 1.000 MW tiene instaladas del orden de unas 10.000 válvulas, que suponen entre el 3 y el 5% del coste de los equipos instalados en la central. Esta estimación se hace en base a un precio medio de la válvula.

De las válvulas instaladas en la central se estima que el 15% están relacionadas con la seguridad de la planta y el 60% con la fiabilidad de la misma. El resto son para servicios auxiliares.

Muchos de los elementos principales de una central están protegidos por válvulas, como pueden ser la turbina, el generador de vapor, el presionador, etc. En caso de incidente en la propia central, se garantiza la seguridad, entre otros aspectos, por la correcta operación de las válvulas que están instaladas para tal propósito.

Las válvulas destinadas a centrales nucleares no son sólo un equipo mecánico más o menos complejo, sino que tienen una necesidad de durabilidad es sus condiciones de operación. Dada esa función de seguridad y de fiabilidad, hay que mantener el funcionamiento de las mismas durante la vida de la central. Requieren unos análisis y diagnosis de los fallos que puedan afectar a la seguridad de la planta, analizarlos y solucionarlos. Necesitan garantizar la función de seguridad en el tiempo de vida de la central. Por tanto precisan de un mantenimiento a largo plazo acorde con los requisitos originales para los que fue diseñada. Ese mantenimiento requerirá que los repuestos necesarios para el mantenimiento deben cumplir con los requisitos originales de diseño.

## Ringo Válvulas

Ringo Válvulas es una empresa privada española fundada en el año 2000 por una parte importante del equipo directivo de la desaparecida Walton Weir Pacific, S.A., que fue una sociedad española fundada en 1959, el principal suministrador de válvulas en España. Participó activamente en la construcción de todas las centrales nucleares españolas suministrando más del 80% de todas las válvulas instaladas en las mismas.

Desde ese punto de vista, Ringo es una empresa joven, tiene 9 años, pero una gran parte del equipo humano tiene más de 40 años de experiencia en la fabricación de válvulas nucleares, los códigos técnicos, sistemas, diseño, etc.

El mercado español es todavía pequeño. Ringo Válvulas es hoy el primer suministrador de válvulas para todas las centrales nucleares españolas. Se siguen requiriendo válvulas para las operaciones de mantenimiento. En todas las paradas hay que cambiar válvulas.

A pesar de la corta vida, Ringo Válvulas ha suministrado sus productos a plantas en España y ha sido capaz de exportar a Suecia, Suiza, Bélgica, China, Argentina, México y Sudáfrica (**|Figura 2|**).

## Orígenes y desarrollo de válvulas

En una primera generación de centrales, José Cabrera y Garoña (**|Figura 3|**), hubo poco suministro de válvulas fabricadas en España, sólo el 10% de los suministros de válvulas originales fueron españoles, todos para servicios auxiliares.

Ninguna válvula de seguridad fue fabricada en España.

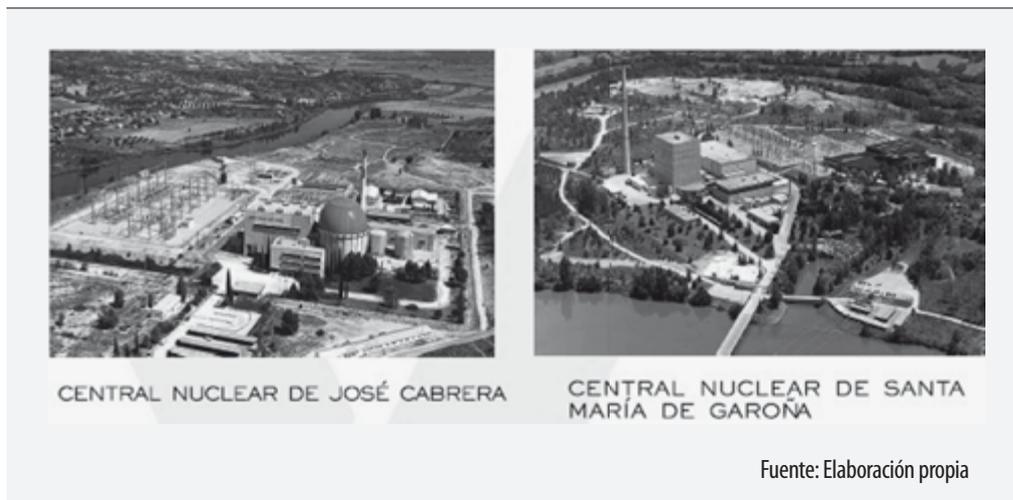
En una segunda generación de centrales: Almaraz, Ascó y Cofrentes (**|Figura 4|**), ya la industria española de válvulas suministra del orden del 80% de la válvulas originales. ¿Qué ocurrió? Hubo mucha fabricación bajo licencias de empresas como Westinghouse, Crosby, Copes Vulcan, etc., gracias a un decreto de fabricación mixta que permitía la importación de ciertos componentes originales sin necesidad de pagar

**|Figura 2|** Exportaciones de RINGO

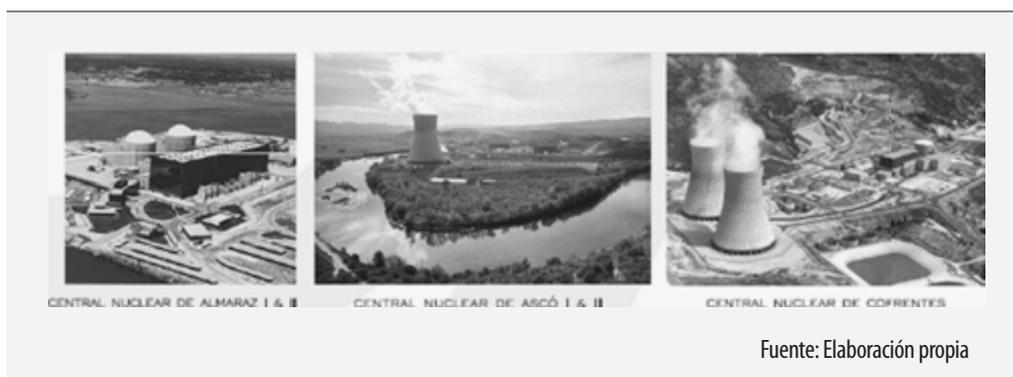


Fuente: Elaboración propia

**|Figura 3| Centrales Nucleares de José Cabrera y Garoña**



**|Figura 4| Centrales Nucleares de Almaraz, Ascó y Cofrentes**



aranceles, siempre que se garantizase un contenido mínimo de fabricación española. Eso permitió que el número de suministros en volumen de válvulas aumentase.

En una tercera generación: Trillo y Vandellós II (**|Figura 5|**), ya del orden de entre el 90 y el 95% de los suministros de válvulas originales fueron españoles y fabricados con tecnología propia.

## La garantía de calidad nuclear

La construcción de las centrales nucleares españolas aplica el concepto de “Garantía de Calidad” en la fabricación de las válvulas. Antes de la industria nuclear, la valvulería era una industria sin ningún tipo de proceso específico de control de calidad.

**[Figura 5] Centrales Nucleares de Trillo y Vandellós II**



Para garantizar la calidad se crean manuales de calidad y se aplican los códigos, se crean los procedimientos de fabricación y de control de calidad, se forma personal especializado en técnicas de inspección, de soldadura y control dimensional y se invierte en equipos de medida y de materiales; hay una formación de un personal importante en diseño e ingeniería. Y para dar servicio a todo esto, se crea una serie de laboratorios de ensayos especiales, muchos de ellos en España, para realizar las calificaciones sísmicas y ambientales que eran necesarias o de obligado cumplimiento para poder instalar los equipos en la central.

## Moratoria nuclear

Después de haber iniciado este mercado tan prometedor durante la construcción de las centrales españolas, llega la moratoria nuclear. A la industria de las válvulas le pasa como al resto de industrias implicadas, pero la industria de las válvulas es mucho más pequeña y débil que el resto ante una situación de falta de mercado.

La industria de fabricación de válvulas nucleares se vio obligada a reconvertirse para sobrevivir y cubrir el vacío de su actividad. Gracias al grado tecnológico que las empresas obtuvieron durante el desarrollo nuclear, se encontraban en condiciones de posicionarse en nuevos mercados tales como la construcción de plantas de generación de energía de tipo no nuclear, como centrales de ciclo combinado, plantas de desulfurización del carbón, etc. y fundamentalmente el mercado petrolífero y petroquímico.

Desgraciadamente, dado que el volumen de estos nuevos mercados en España no era suficientemente grande para cubrir el vacío que había dejado el mercado nuclear, las empresas españolas tuvieron que dar el salto al mercado de la exportación hasta donde les fue posible.

## El mercado de la exportación

Durante los años 90, las empresas se ven obligadas a concentrarse en la exportación. Muchas tuvieron un gran éxito en esta actividad, y hubo una gran actividad de compra-venta de empresas por grupos. Hasta el punto de que, empresas que mantenían una cierta estructura para la fabricación de válvulas en el sector nuclear, como una forma de reducir sus costes, abandonaron definitivamente la actividad de producción nuclear. Esto ocasionó en algunos casos la falta de suministros de equipos y repuestos originales.

Un número reducido de empresas, a pesar de la falta de mercado nuclear, mantuvo una cierta estructura de ingeniería y de garantía de calidad para dar servicio al pequeño mercado de fabricación de nuevas válvulas y repuestos requeridos por las plantas para sus modificaciones de diseño y para los mantenimientos programados en las paradas. En el caso concreto de Ringo Válvulas, somos una empresa básicamente exportadora y dichas actividades relacionadas con el mercado nuclear han supuesto del orden del 15-20% de las cifras de facturación anuales durante los últimos años.

## El mercado global

Durante la construcción de las centrales nucleares españolas, el mercado de la valvulería para estas centrales fue netamente un mercado interior. Durante el periodo posterior a la moratoria nuclear, las empresas tuvieron que dar el salto al mercado de la exportación relacionado con instalaciones no nucleares.

En la actualidad el mercado es global y hay un resurgimiento nuclear. Lo que ha ocurrido en el caso concreto de las válvulas, que son equipos sencillos, de bajo valor añadido, es que está deslocalizado. Muchas de las cosas que se hacían hace 20 años en las fábricas españolas han desaparecido y realmente sólo se hacen en China o en la India.

La fabricación de equipos de alto valor añadido y alto contenido tecnológico, con destino a aplicaciones severas o complejas, como son las válvulas de centrales nucleares, se mantiene todavía localizada, no siendo conveniente su deslocalización. Es la forma de mantener una industria propia.

## Los métodos de trabajo. Nuevas tecnologías

Antes se utilizaban herramientas rudimentarias, diseño de válvulas y cálculos a mano, diseños en 2 dimensiones. En la actualidad se utilizan potentes herramientas informáticas de diseño y cálculo, como son el cálculo por elementos finitos o los cálculos

fluidodinámicos que simulan el comportamiento real del fluido en la válvula y que abren un gran abanico a la hora del diseño de prototipos.

Se han implantado nuevas tecnologías en los procesos de fabricación de las válvulas. Han aparecido nuevos materiales capaces de soportar mayores demandas del proceso, nuevos procesos de fabricación que permiten fabricar elementos con mayor durabilidad, nuevas técnicas de ensayos, de diagnóstico de válvulas y nuevos diseños que dan mayor fiabilidad.

Y la introducción de nuevos elementos de instrumentación y control basados en nuevas tecnologías: los actuales actuadores son electrónicos, más sofisticados, posicionadores digitales, etc. Todos los equipos de instrumentalización y control utilizan la electrónica, lo que da lugar a unas mayores posibilidades, pero origina la necesidad de nuevas homologaciones y calificaciones de los productos terminados.

## El relanzamiento nuclear

En los últimos años se ha planteado un debate sobre la vuelta a la utilización de la energía nuclear como un medio fiable y seguro para cubrir la creciente demanda energética. Hay muchos países que ya están apostando por la construcción de nuevas plantas. Se han mejorado los diseños de plantas tecnológicamente más avanzadas que requieren equipos mucho más sofisticados. Van a requerir nuevos diseños, nuevos controles de calidad, I+D+i, etc.

¿Qué esperamos que ocurra? La construcción de las nuevas plantas exige que haya suministradores de equipos capaces de dar respuesta a dicha demanda. En la actualidad existen pocos fabricantes a nivel mundial capacitados para la fabricación de válvulas destinadas a centrales nucleares debido al anterior abandono de dicha actividad. La formación de personal nuevo, para la fabricación de equipos con destino a centrales nucleares es un proceso largo en el tiempo, de años. Las empresas que mantuvieron su *know how* y su estructura se encuentran hoy en día en una inmejorable situación en el escenario actual. Ringo Válvulas, a pesar de ser una empresa pequeña en comparación con otras del sector, está teniendo contactos con los clientes más importantes en este negocio.

Los mercados actuales son Europa, Estados Unidos y China. En Europa, están Francia, Finlandia, Reino Unido e Italia, que están apostando por este mercado. En Estados Unidos parece ser que hay alrededor de 20 solicitudes de licencias. Y China, con un primer plan de 40 nuevos grupos en el año 2020 y un segundo plan que quieren llegar a 100 en el futuro.

El mercado de Ringo Válvulas hoy, a parte de todas las centrales nucleares españolas, es el mostrado en la **|Figura 6|**.

**[Figura 6] Mercado de Ringo Válvulas hoy**

Debido a ese vacío en el pasado, las actividades que realiza Ringo Válvulas, aparte de la fabricación de válvulas nucleares, se ha ampliado a la “dedicación” de válvulas, que consiste en nuclearizar un equipo convencional, fabricación de repuestos, caracterización de repuestos, soporte de ingeniería y supervisión de montajes y modificaciones en plantas. Muchas de estas actividades se realizan en colaboración con Tecnatom, que da soporte de ingeniería. |●|



# Enusa, referente de la primera parte del ciclo de combustible nuclear

ROBERTO GONZÁLEZ VILLEGAS – ENUSA

## Introducción

Enusa es un referente en España para la primera parte del ciclo de combustible nuclear, pero, ¿qué entendemos como “primera parte del ciclo de combustible nuclear”? Identificaremos algunos de los aspectos clave en el contexto global de energía nuclear.

Por “primera parte del ciclo de combustible nuclear” entendemos todas aquellas actividades relacionadas con la exploración, con la producción de concentrados de uranio, con la “primera conversión” de  $U_3O_8$  a hexafluoruro de uranio ( $UF_6$ ). El enriquecimiento y la “segunda conversión” están separados, en el caso de Enusa, de la fabricación del combustible, algo atípico, ya que las fábricas de combustible tienen esta fase integrada como parte del proceso. Es una de las características de Enusa. El origen de esto es que las empresas españolas relacionadas con la energía nuclear se han tenido que ir adaptando a lo largo del tiempo a las políticas energéticas, y una de estas adaptaciones ha sido motivada porque el comienzo de su andadura a mitad de los 80, coincidió con la moratoria nuclear. La fábrica se constituyó para dar servicio a las necesidades del mercado español, una empresa nacional al servicio del mercado de España. En ese momento se decidió reducir la inversión y eliminar alguna de las actividades y procesos que sí se contemplaban en otras fábricas de aquellos tiempos.

Esta “primera parte del ciclo de combustible nuclear” termina con su introducción en el núcleo en una central nuclear. A partir de ahí ya empieza la “segunda parte”.

Se abordarán distintos aspectos: cuál es la experiencia de Enusa, dónde está y se identificarán algunos aspectos críticos.

## Enusa Industrias Avanzadas, S.A.

Enusa es una empresa pública, estatal, con capital 100% público. Es independiente y bastante atípica, una empresa pequeña que ha sobrevivido desde mitad de los años 70 hasta la actualidad, en unas circunstancias nada fáciles.

Las actividades fundamentales de Enusa son la exploración minera, la identificación de yacimientos de uranio, la explotación de los yacimientos, la ingeniería y fabricación de combustible, prestación de servicios y otros aspectos que se verán a continuación. Y por último, un proceso de diversificación a otras áreas que se aborda como consecuencia del parón nuclear, que hizo ver que no se podía subsistir exclusivamente de lo nuclear.

## Participación de Enusa en otras empresas

Enusa tiene participaciones financieras en otras empresas, en alguna de ellas desde el origen de la compañía. Por ejemplo, participa con un 11% desde el año 1973 Eurodif, que es una empresa europea de enriquecimiento de origen francés, o Cominak, que es una mina de Níger que nos permite abastecernos con un 10% de las necesidades del mercado español de uranio, desde 1973.

En el área de combustible, las participaciones son de carácter comercial: constitución de empresas para la comercialización de productos y servicios en el mercado europeo, como Genusa, con General Electric o la AIE en Sangüesa para la prestación de servicios o, de reciente constitución, la AIE para el mercado chino que se ha constituido en el 2008 con Enusa, Tecnatom y Ringo Válvulas. Estamos en los primeros pasos de prestación de servicios y venta de productos al mercado chino.

Éstas son las participaciones más significativas dentro de lo que consideramos la primera parte del ciclo de combustible nuclear.

## Recursos humanos

Enusa tiene una plantilla bastante estable desde los últimos 20 años de unas 400 personas en actividades del combustible. Aunque el número de personas en plantilla siempre ha sido el mismo, ha habido un importante incremento de producción y de prestación de servicios, adaptándose a las reglas del mercado. Enusa se ha hecho una empresa más competitiva.

Dos tercios de la plantilla son titulados superiores. Es un sector muy tecnológico en el que se requiere una alta capacitación... En el caso de las ingenierías del sector, el número de titulados asciende al 90% de la plantilla.

## Desglose de actividades: uranio

Pasamos a desglosar las distintas actividades que desarrolla Enusa en los distintos campos de la ingeniería, la fabricación y los servicios.

En el caso concreto del uranio, que es el origen de la empresa, empieza con la exploración de yacimientos mineros de uranio. Enusa es la “central de compras” de las empresas eléctricas españolas. Todo el uranio y los servicios de transformación que se necesitan en España para las centrales nucleares son proporcionados por Enusa: los concentrados de uranio, los servicios de primera conversión, los servicios de enriquecimiento y los servicios auxiliares de transporte, seguros requeridos, etc.

En el caso concreto de Enusa, las explotaciones mineras se han venido operando desde los años 70, pero a finales de los 90 se tomó la decisión de cerrar el último yacimiento en España, localizado muy cerca de Ciudad Rodrigo. La decisión de cierre fue fundamentalmente económica. En aquellos momentos, el precio del uranio estaba alrededor de 9-10 dólares la libra, un precio que hacía prácticamente inviable el mantenimiento de esa explotación minera y se decidió cerrar la mina. Estamos en fase de desmantelamiento y clausura de las instalaciones que se han completado en el año 2010.

En la **[Figura 1]** se puede ver el enorme esfuerzo que se ha hecho de restauración. En la foto de mayo de 2004 se ven los huecos de las explotaciones mineras y a su izquierda, cómo está prácticamente terminada a finales de 2008. Sólo quedan detalles de la clausura final.

En cuanto a la actividad de suministro de los componentes necesarios para las centrales españolas, es muy diversificada. Uno de los temas más esgrimidos por los grupos que están en contra de la energía nuclear es la seguridad de suministro. Es un tema crítico, y clave del negocio. La diversificación es vital para asegurar el suministro de uranio. Y con la suficiente diversificación de los suministradores, el suministro a largo plazo queda garantizado.

A continuación se incluye una relación de los suministradores de los materiales y servicios ofrecidos por Enusa:

Concentrados de uranio:

- COMINAK (Níger)
- TENEX (Rusia)
- BHP BILLITON (Australia)
- CAMECO (Canadá)
- RIO TINTO (Namibia)
- KAZATOMPROM (Kazajistán)

Servicios de conversión:

- AREVA (Francia)
- TENEX (Rusia)
- SFL (GB)
- CONVERDYN (USA)
- CAMECO (Canadá)

**[Figura 1] Evolución de la restauración de las instalaciones mineras**



Servicios de enriquecimiento:

- EURODIF (Francia)
- USEC (USA)
- TENEX (Rusia)
- URENCO (Alemania-Holanda-GB)

Todos ellos vinculados a Enusa desde el principio, y con contratos a largo plazo hasta de 20 años. Hay pocos negocios, pocas industrias donde se pueda hablar con absoluta certeza de que hay una garantía de suministro para las centrales de este país en los próximos 15 ó 20 años sin ningún problema.

Los países suministradores son además bastante estables, muchos de ellos, como Canadá, Australia, Estados Unidos, Inglaterra o Francia son países muy estables, lo que hace pensar que esos contratos que están firmados se van a respetar.

Pero esos contratos se cumplen si hay reservas para cumplirlos. Las existencias de uranio reconocidas van a ser un tema clave en el llamado “Renacimiento Nuclear”. La evolución en los últimos 30 ó 40 años de los precios del uranio nos demuestran que ha habido una gran variabilidad en precios. Cuando cerramos las explotaciones

de uranio en España fue el momento de precio más bajo, pero los precios han permanecido bajos durante 20 años. Las reservas de uranio están bastante relacionadas con el precio. Las épocas en que los precios son altos, hay una inversión importante en exploración y en instalaciones mineras, como a mediados de los 70. En 2008 hay otro repunte importante de precios y un repunte importante de las reservas, porque se ha puesto de nuevo en marcha la maquinaria de la exploración y de la explotación de nuevas minas a nivel mundial.

Para el parque eléctrico nuclear que ahora mismo existe tendríamos reservas de uranio para 85 años. Creemos que hay suficiente uranio para un programa nuclear mundial ambicioso, ya que el uranio es un material muy abundante en la naturaleza.

Adicionalmente a las explotaciones tradicionales, se está extrayendo uranio de los fosfatos, que no era antes una fuente tradicional de suministro. Y veremos en el futuro nuevas fuentes de explotación según las necesidades que vayan surgiendo.

Otro aspecto importante es la participación del precio del uranio en el coste total de la generación eléctrica de origen nuclear. En algunas ocasiones se utiliza mal de manera intencionada, se dice que los precios del uranio fluctúan de manera parecida a como ocurre con el petróleo o el gas. Pero hay una enorme diferencia, el efecto que tiene el precio del uranio sobre el coste de generación de la energía nuclear es muchísimo menor. La cifra varía, pero el precio del combustible puede oscilar alrededor de un 12%, cuando la variación del precio del uranio es un 46%.

## Desglose de actividades: combustible nuclear

¿Qué ha pasado con el mundo de los suministradores de combustible? En los años 80, la lista de empresas suministradoras era muy amplia, más de 20. En los últimos 30 años se han ido concentrando y actualmente se ha reducido de forma dramática, y se seguirá viendo una reducción, a pesar de que ya no hay mucho margen para ello. Empieza a haber dudas sobre el futuro de la empresa canadiense, MHI que se está acercando a Areva, Siemens se está acercando a la empresa rusa... Todavía va a haber más concentración en el mercado. En los años 80 fue un mercado de suministradores, en los siguientes 20 años se convirtió en un mercado donde las empresas eléctricas eran las que dominaban y marcaban las reglas de juego, y en esta década se va a convertir en un nuevo mercado de suministradores por la concentración tan fuerte que hay. Enusa se ha mantenido como empresa estatal independiente, una empresa pública española que sigue teniendo su papel.

El mercado europeo occidental de fabricantes en 2009 disponía de cuatro fábricas. De esas cuatro, la mayor es la que pertenece a Areva, situada en Romans, le sigue Lingen en Alemania, y luego dos de tamaño muy parecido, la de Västerås, situada

en Suecia y la de Juzbado de Enusa. Antes había un exceso de capacidad en este mercado, por encima del 30%, hasta el 40% en algunos casos. Sin haber empezado ese 'Renacimiento Nuclear', que no ha llegado todavía a Europa (a pesar de que hay en construcción varias centrales), el exceso de capacidad se ha reducido por distintos motivos. Estamos en torno a un 20%, que es el margen de seguridad que se necesita para que cualquier fábrica pueda abordar incidentes, problemas o peticiones no contempladas. Por debajo de ese 20% puede haber problemas de suministro. Ésta es una información muy importante para que los fabricantes empiecen a tomar medidas para aumentar las capacidades de fabricación. Montar una nueva fábrica en occidente es muy complicado, todos los permisos que se requieren conllevarían un montón de años. La de Juzbado fueron 10 años desde que se concibió hasta que se empezó la fabricación, y era una época en la existía un entorno relativamente favorable. Hoy sería impensable.

El mercado europeo hasta ahora es bastante estable. Esperamos que empiece a haber crecimiento a partir del 2011 ó 2012, cuando empiecen a funcionar los nuevos reactores, hoy en construcción. Es un mercado dominado por el grupo Areva. Hace 5 años suministraban al 80% del mercado y el resto se lo repartían Westinghouse, General Electric y Enusa.

Hoy en día, la situación se está haciendo más competitiva. Aunque Areva sigue siendo el suministrador número 1 del mercado europeo y mundial, en Europa se han reducido distancias con el resto de suministradores. El papel de Enusa en algunos casos es de segundo suministrador en el mercado europeo.

El concepto de globalización está asociado a este sector y a este mercado nuclear. Globalización, porque la tecnología viene de Estados Unidos. Compramos tecnología a las empresas americanas (General Electric y Westinghouse), fabricamos en Europa y servimos al mercado europeo. Pero es muy importante la aparición de nuevos suministradores en la zona asiática, como Corea, Japón y China, que cada vez son más activos y se van acercando al mercado del combustible. Aunque el movimiento de combustible es muy difícil de unos continentes a otros por los aspectos legislativos y civiles, y la cantidad de documentación requerida para transportarlo. Pero para la tecnología no hay barreras ni áreas de influencia.

El 70% de la producción de Enusa en Juzbado, en el 2009, fue al mercado europeo. Una fábrica que nace para suministrar al mercado nacional, en escasamente 10 años ha sido capaz de dar la vuelta a este escenario.

La fábrica empezó sus actividades en 1985. Su capacidad actual es de 400 toneladas de uranio al año. Esperamos llegar en los próximos dos años a 500 toneladas. Son las cifras en que el mercado europeo ha pedido que nos movamos a partir del 2011.

## Desglose de actividades: ingeniería

Enusa presta servicios de ingeniería para la mayor parte de las centrales europeas, pero también colabora con sus socios en muchos servicios para el mercado americano, y con sus socios tecnológicos japoneses, chinos y coreanos, sirviendo también a determinadas necesidades de los clientes de estos países. Aquí también se ve la globalización del sector.

Este sector apuesta por la investigación, el desarrollo y la innovación. Para empresas pequeñas, como es el caso de Enusa, esto es fundamental, invierte más del 6% de sus ventas. En el año 2009 estuvieron entre el 7 y el 8%. Y seguirá subiendo previsiblemente en los próximos años. Si queremos estar en el futuro como empresa pequeña e independiente, sirviendo a un mercado determinado, la apuesta por el I+D+i es fundamental.

## Desglose de actividades: servicios

Los servicios en central son otra actividad muy importante de apoyo a la operación de las centrales nucleares en el que Enusa está enmarcada desde hace muchos años: manejo de combustible fresco, manejo de combustible irradiado y de componentes, inspección de combustible para detección de fugas, reconstitución y reconstrucción de combustible, inspección y caracterización de combustible y limpieza de combustible por ultrasonidos.

## Crecimiento de mercado en Europa

¿Por qué nos estamos preparando para un aumento de capacidad dentro del mercado europeo? Aparentemente, la situación actual es muy estable, de mercado, de porcentajes, y aunque hay algún movimiento de un suministrador a otro, no hay grandes porcentajes. Los suministradores que existen hoy en día van a seguir existiendo aunque haya concentraciones, pero lo que sí que es una realidad es que hay proyectos en firme para que a partir del 2011 se suministre combustible. Finlandia es una realidad, Francia está construyendo su primer reactor de tecnología PR, se ha dado el visto bueno al segundo y el tercero lo veremos dentro de poco. En el Reino Unido se está haciendo una apuesta clara por la energía nuclear. A partir del 2016 ó 2017 va a haber unas importantes necesidades y en el caso concreto de Enusa, de suministro de combustible al nuevo mercado nuclear. |•|



# CAPÍTULO V

## Aspectos socio-económicos de la energía nuclear

### 1. Energía nuclear: necesidades de formación

**Autor:** Emilio Mínguez

**Empresa:** UPM

**Cargo:** Vicerrector de gestión académica

### 2. Las consecuencias socio-económicas de la moratoria nuclear

**Autor:** Juan Velarde

**Institución:** Real Academia de Ciencias Morales y Políticas

**Cargo:** Académico

### 3. I+D Nuclear: desafíos de hoy y mañana

**Autor:** Luis Enrique Herranz Puebla

**Institución:** CIEMAT

**Cargo:** Unidad de Investigación en Seguridad Nuclear.  
División de Fisión Nuclear



# Energía nuclear: necesidades de formación

EMILIO MÍNGUEZ-UPM

## Introducción

En muchos foros, la memoria histórica nuclear nos ha ofrecido los resultados que vemos ahora. Existe una necesidad de formación y es fundamental hacerse la pregunta: *¿necesitamos la energía nuclear?* La responderemos desde el punto de vista de la universidad.

*¿Existe una necesidad de recursos humanos en el sector nuclear?* En las colaboraciones internacionales se observan los problemas y las distancias que existen en el país como consecuencia de la falta de planificación en el pasado.

*¿Existe una capacidad de formación?* En función de cuáles son las necesidades que pueda haber en el país, se verá si es suficiente lo que tenemos.

## Renovación energética hasta el 2030

World Nuclear Association prevé una renovación energética aproximadamente en estos próximos años, hasta el 2030, con una potencia instalada de 660 GW en Europa, 850 GW en América, 1.300 GW en China y del orden de 400 GW en India.

En este contexto, en estos países y en los diversos continentes la energía nuclear tendrá una parte importante de esta renovación. Con esto responderíamos a la primera pregunta planteada.

La segunda va más a cuestiones históricas. Los números que aparecen en la gráfica de la [Figura 1], tomada de los anuarios de UNESA, nos demuestran cuál es la generación nuclear histórica hasta el año 2006. El 2007 y 2008 son similares. Se ven cuáles son los indicadores de funcionamiento, que son consecuencia de un “bien

hacer”, de una formación, de unos criterios y de una estructura que en definitiva está plasmada en la experiencia que existe en España en el sector nuclear.

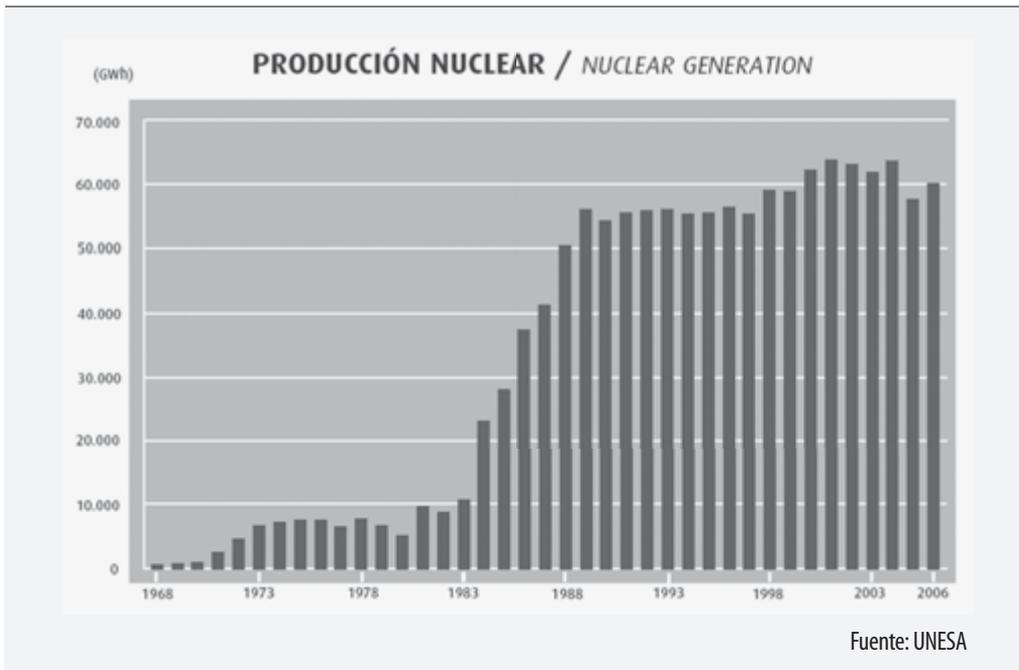
Las empresas eléctricas tienen una dilatada experiencia de operación. En este momento, hay una relación muy directa con los vendedores Westinghouse, General Electric y Areva, y anteriormente con Siemens a través de Trillo.

Hay una importante actividad nacional y de exportación en la fabricación de combustible, así como en las empresas de ingeniería, en componentes pesados y en equipos nucleares. Tenemos un organismo regulador, el CSN. Existe un centro de investigación que ha ido evolucionando con el paso del tiempo, manteniendo el trabajo en áreas avanzadas de investigación; hay una participación en el tratamiento de residuos radiactivos y la parte de educación está centrada en las universidades. El entrenamiento está en las universidades y en colaboraciones de universidad y empresa.

## Experiencia en el sector nuclear

Esta experiencia en el sector nuclear español no la tienen algunos países como por ejemplo, Italia, que se ha lanzado ahora al mundo nuclear. Este conocimiento es

**[Figura 1] Generación nuclear histórica hasta 2006**



justamente el resultado de lo que se hizo en el pasado. Y ha llevado a que al menos tres generaciones tengan una memoria histórica nuclear.

Eso se ha conseguido a base de formación, conocimiento, trabajo y una planificación inicial bien ordenada.

NPP Operation (Utilities), Vendors (W, GE, Siemens, AREVA), Fuel fabrication (ENUSA), Engineering companies (TECNATOM, EA), Heavy components factory (ENSA), Regulatory Commission (CSN), Research Centre (CIEMAT), Waste Management company (ENRESA), E&T+ research at Universities... Todas las compañías necesitan personal, puesto que siguen teniendo una gran actividad internacional más la propia operación de nuestras centrales, que hay que mantener durante su vida, independientemente de lo que digan los políticos.

La producción debe seguir siendo sostenible. Es de esperar que los factores de carga que tenemos en la gráfica de la **[Figura 2]** se sigan manteniendo.

**[Figura 2] Factores de carga**



## Escenario futuro

La operación a largo plazo está en un momento álgido, con la cuestión de Santa María de Garoña. Tenemos referencias de que hay muchos países que están optando por alargar la vida de diseño. Cuando se tiene algo bien mantenido, dura más. Las centrales duran más de 40 años tal y como se ha demostrado. Las decisiones que se han tomado son políticas, no técnicamente fundamentadas.

Hay actividad, aunque algunas centrales se vayan a ir desmantelando habrá gestión de residuos, de alta, media y baja actividad. Siendo optimistas, podemos pensar que se vayan a construir nuevas centrales. En 10 ó 20 años es posible que tengamos alguna central con reactores de la generación III.

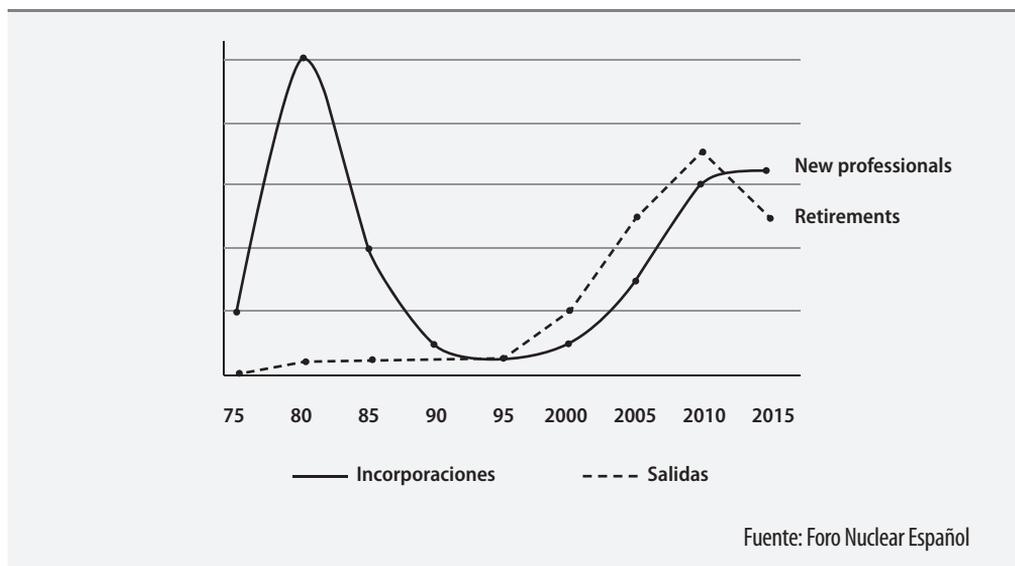
En nuestro entorno hay una actividad de creación de nuevas centrales, por lo que la formación en este momento es importante porque alcanza a un mundo globalizado. Nuestros estudiantes deben conocer que hay una actividad a pesar de las opciones contrarias, en este momento, de los políticos.

Hay programas de generación IV, INPRO, de I+D, de transmutación de residuos, instalaciones de fuentes de irradiación de neutrones que pueden caer en otra área completamente distinta, pero que la experiencia dice que la generación que ahora trabaja en energía nuclear puede haber empezado en programas que las universidades o el CIEMAT tenían en I+D y esa formación les ha servido para pasar al mundo de la empresa con otras actividades. Tuvimos hace cinco años una muy buena oportunidad, al poder entrar en un proyecto de generación IV, pero el cambio político lo frustró.

Está también el tema de la fusión: el ITER, FCI, fuentes de neutrones. Se ha inaugurado en California el láser de Nova, una de las instalaciones modélicas que van por delante del ITER. Desde la Universidad Politécnica y otras instituciones mantienen una relación muy directa con el laboratorio de California en problemas relacionados con materiales y otras fuentes de radiación.

La gráfica de la **[Figura 3]** es muy conocida, del Foro Nuclear Español, en ella se ve la evolución de cómo en un momento determinado había un pico importante de personal trabajando, por distintas actuaciones de las empresas. Ha habido jubilaciones anticipadas, que dan lugar a un balance negativo. Si queremos entrar en nuevos proyectos durante los próximos 10 años se necesitarán ingenieros no exclusivamente nucleares así como técnicos de apoyo para las nuevas centrales que se proyectan en Europa.

Debemos recordar que la industria nuclear se ha nutrido de especialistas con una alta formación y nivel de conocimientos elevados, y se ha visto por los resultados. La formación en el sector nuclear se ha adaptado siempre a las nuevas tecnologías, se

**[Figura 3] Evolución del personal trabajando**

ha realizado en universidades de prestigio en colaboración con empresas y centros de investigación, fundamentalmente en el CIEMAT. En muchos países, también en España, los centros de investigación han estado soportados por los gobiernos. En la actualidad no es así.

Hay muchos trabajos que aparecieron a finales de los 90 en los que se veía que había una bajada del número de estudiantes en el mundo, fundamentalmente en Estados Unidos y Europa (**[Figura 4]**). Cuando algo no es atractivo cada vez hay menos estudiantes que se involucran en el sistema y se reducen los programas y el número de profesores.

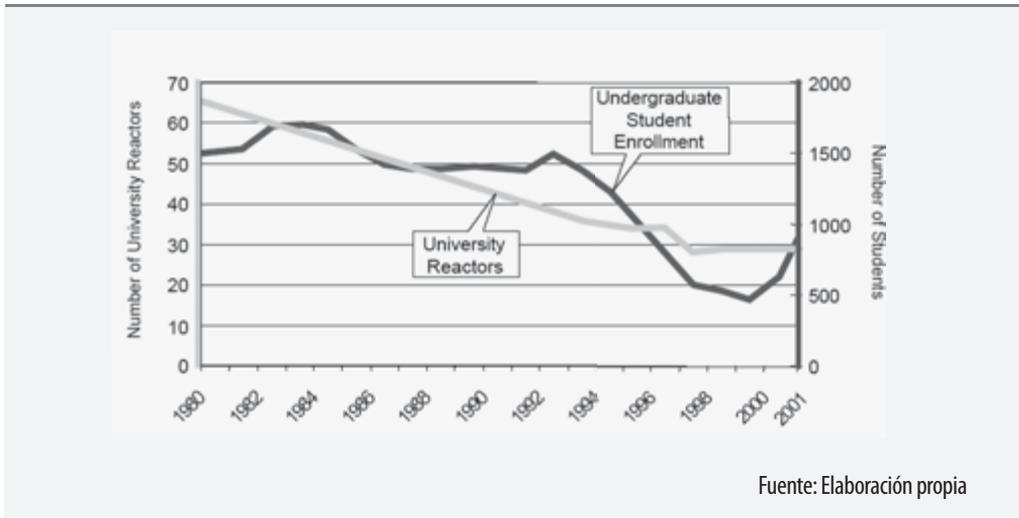
El departamento de Energía de Estados Unidos financia actividades a finales de los 90. Son proyectos de la generación III, IV, hidrógeno y otras aplicaciones derivadas, con lo que el número de alumnos crece, es decir, que si no hay un incentivo, cada vez hay menos personal preparado.

Este cambio de tendencia queda reflejado en la gráfica de la **[Figura 5]**.

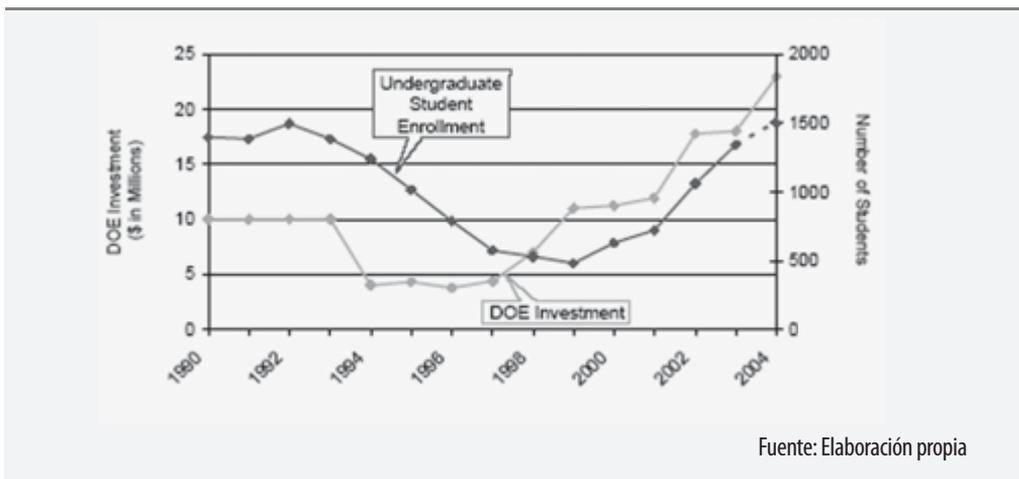
## Renacimiento de la energía nuclear

El renacimiento de la energía nuclear no sería posible sin la formación y el entrenamiento. Podemos hablar de instalaciones, pero sin una formación de nuevas generaciones al nivel que hubo antes, no será factible.

[Figura 4] Evolución de estudiantes



[Figura 5] Cambio de tendencia en la evolución de estudiantes



Necesitamos recursos humanos. En Estados Unidos han calculado que en los próximos 10 años van a necesitar 800 ingenieros al año, para apoyo de los nuevos equipos. En Francia, en los próximos 10 años serán necesarios 500 ingenieros al año. Y en España, extrayendo el dato de las jubilaciones, sólo 150 al año para mantener el estado actual. En los próximos diez años se producirá un importante relevo generacional, debiendo sustituirse a la mitad de los técnicos y titulados superiores.

De los datos aportados por Francia, extraemos que de los 5.000 ingenieros que se necesitan en total, el 11% deberán ser ingenieros eléctricos y mecánicos; el 6% ingenieros civiles y el 11% de materiales y estructuras; la parte de física y de seguridad

nuclear, 14%; las técnicas de instrumentalización y control y las TIC's un 15%; desarrollos de códigos el 2%; químicos el 4% y hay aproximadamente un 25% dedicado a la operación. El 12% restante estará dedicado a aspectos termohidráulicos.

## Algunas iniciativas mundiales de formación

Hay una serie de asociaciones internacionales, como ENEN Association, que nació al hilo del V Programa Marco; la NTEC (Nuclear Technology Consortium) de Estados Unidos, que agrupa a muchas universidades, sobre todo aquéllas que tienen departamentos de energía nuclear; la ANENT (Propuesta de Programa de Master), que es la última que se ha formado, es del continente asiático; actividades de la World Nuclear University a través de la OIEA y los cursos del International Centre for Theoretical Physics: 2006, Trieste (WNU, OIEA).

También la Unión Europea se ha preocupado de tener unas redes de formación dependientes de los V, VI y VII Programas Marco.

La NEPTUNO (CA), “Nuclear European Platform of Training and University Organisations” (nuclear engineering), es una plataforma en la que se trató de unir la academia y los programas de entrenamiento. En este momento hay proyecciones del programa NEPTUNO.

Y surgen también iniciativas dentro del VII Programa Marco para transmitir información en organismos e instituciones no nucleares.

ENEN Association se formó en septiembre del 2003 con estatutos, equipo directivo y presidente. Trata fundamentalmente de elaborar un máster europeo en ciencia e ingeniería nuclear. Tiene una serie de ventajas para los alumnos y una de ellas es el número de universidades adheridas. Ésta es la lista, a la que se ha incorporado alguna otra más:

- Austria: Atominstitut der Österreichischen Universitäten – Vienna.
- Belgium: Katholieke Universiteit Leuven, – Leuven.
- Belgium: Université Catholique de Louvain UCL – Louvain-la-Neuve.
- Belgium: Universiteit Gent, University of Gent – Gent.
- Czech Republic: Czech Technical University – Prague.
- Finland: Helsinki University of Technology – Helsinki.
- Finland: Lappeenranta University of Technology, Lappeenranta.
- France: CEA – Institute National des Sciences et Techniques Nucléaires – Saclay.
- France: Institut National Polytechnique de Grenoble – Grenoble.
- German: Technische Universität München (TUM) – München.
- Germany: Institut für Kernenergetik und Energiesysteme – Stuttgart.

- Greece: National Technical University of Athens– Athens.
- Great Britain: University of Manchester – Manchester.
- Great Britain: University of Birmingham – Birmingham.
- Hungary: Budapest University of Technology and Economics – Budapest.
- Italy: Consorzio Interuniversitario per la Ricerca Tecnologica Nucleare – Torino.
- Netherlands: Delft – DelfUniversity of Technologyt.
- Romania: “Politechnica” University of Bucharest – Bucharest.
- Slovakia: Slovak University of Technology, Bratislava.
- España: Universidad Politécnica de Madrid (UPM) – Madrid.
- España: Universidad Politécnica de Catalunya.
- España: UNED, Universidad de Sevilla, Universidad de la Coruña.
- Slovenia: University of Ljubljana – Ljubljana.
- Sweden: Kungl Tekniska Högskolan – Royal Institute of Technology – Stockholm.
- Sweden: Uppsala University.
- Switzerland: Swiss Federal Institute of Technology (ETH) – Zurich.
- Switzerland: Swiss Federal Institute of Technology (EPFL) – Lausanne.

Y se siguen adhiriendo. En España, la primera fue la UPM, participando en su formación, luego se asociaron las otras. Faltan en la lista algunas que todavía no se han adherido y esperamos que todavía se unan más.

Desde el punto de vista de las instituciones de entrenamiento, en el caso de España están las universidades, como la UPM, UPC, UNED, UA, UPV, ICAI, etc. No en todas existen departamentos de energía nuclear, pero en la mayor parte de ellas tienen formación y profesionales en el sector nuclear. Además de las universidades públicas, también las privadas, fundamentalmente el ICAI. Y otros centros como el CIEMAT, e industrias como Tecnatom o ingenierías como Empresarios Agrupados.

Hay una serie de másteres oficiales en marcha, que se elaboran con fondos públicos. Y el máster que se ha puesto en marcha en el CIEMAT en el que esperamos mayor participación a partir del año que viene. Y esperamos también que pronto haya una titulación a través de la Universidad del País Vasco, la Politécnica de Valencia y de la Politécnica de Madrid.

En el caso de la Universidad Politécnica de Madrid hay un Máster en Ciencia y Tecnología Nuclear y un Erasmus Mundus relacionado con Fusión con la Complutense, la Autónoma y la Carlos III con alguna universidad europea. Y otro Máster de Tecnologías de Generación de Energía Eléctrica en colaboración con Tecnatom que lleva 9 años haciéndose y que prácticamente cubre la parte nuclear, acreditado con 60 créditos ECTS, prácticamente un año de docencia desde el año 2001, con una participación baja, pero no desdeñable. Se han formado 150 profesionales de los cuales la mayor parte han pasado al sector nuclear.

## Conclusiones

La formación y mantenimiento del conocimiento en materias nucleares es decisiva para atender las necesidades actuales y afrontar los retos del futuro. Necesitamos nuevas generaciones de expertos en materias nucleares. Las universidades deben ser garantes de la formación básica de alto nivel.

Existen programas de investigación en materias de interés, con el apoyo tanto del sector público como privado, en actividades de entrenamiento y formación continua. Pero necesitamos más, y es necesario intensificar los programas de educación internacional como ENEN y World Nuclear University. Estos programas permiten después el paso al sector empresarial.

Lo fundamental es que, dentro del VII Programa Marco de la UE se está trabajando con el programa de educación y entrenamiento, con el soporte de la cooperación entre universidades y programas de competitividad e innovación.

Sin embargo la situación actual y a medio plazo en España parece negativa, ya que el Gobierno no cree en el renacimiento de la energía nuclear, sino en ir al 100% de renovables. Eso tecnológicamente no es factible, pero ellos así lo dicen. Y desde las universidades seguimos formando profesionales que cuando salen fuera representan a la perfección la formación que reciben. |●|



# Las consecuencias socio-económicas de la moratoria nuclear

JUAN VELARDE – REAL ACADEMIA DE CIENCIAS MORALES Y POLÍTICAS

## Primera Revolución Industrial

La base de la Primera Revolución Industrial es una energía concreta: el carbón. España dispone de un carbón mucho más caro que el de otros países. Como consecuencia de una serie de medidas de política económica y de política general, se trataba de que España pudiera disponer de una energía que no la hiciese dependiente de ningún otro país. Y dentro de lo que se llamó “el pacto del acero y el centeno” prusiano, a imitación de Alemania, se propusieron políticas de protección de la industria española: la del tejido catalana, la siderometalúrgica vasca, la carbonera asturiana, la industria triguera castellana, etc., dentro de un conjunto de equilibrios de ese planteamiento político. Y el resultado de estos planteamientos políticos fue que dispusimos de una energía cara.

## Segunda Revolución Industrial

Llegamos a la Revolución Industrial del siglo XX. Está basada en los hidrocarburos. Como España no los tiene, ni los pudo conseguir, basamos nuestra industria en la energía hidroeléctrica. Pero el problema del carácter torrencial de los ríos y de las enormes inversiones necesarias, hizo que no se explotara lo suficiente la “hulla blanca”. Seguíamos necesitando energía barata.

Y el Gobierno del año 1955 tomó la decisión de importar petróleo. El precio del barril era de 1 dólar, y se pensaba que iba a seguir así de barato siempre. Esto duró hasta 1973, en que se vino abajo todo, en ese momento hubo una reflexión sobre la energía nuclear.

Uno de los grandes economistas españoles de esta etapa, de la última parte de la primera mitad del siglo XX, Manuel de Torres, señaló, en una conferencia que dio en el Ateneo de Madrid, todas las ventajas que tenía la energía nuclear y cómo

España debería introducirse en ese camino. Todo aquello se publicó en un folleto, que Torres vinculó a un trabajo más amplio sobre cómo debería ser la política económica española del futuro. Fue la primera aparición de los economistas señalando este tema. Pero cuando llegaron los dos choques petrolíferos sucesivos de los años 70, pareció obligada la necesidad de acudir a la energía nuclear.

Como consecuencia de los avances científicos, el hombre ha sabido responder a todas las crisis que se le han ido planteando a lo largo de la historia. Sólo hace falta gente bien formada, y en este sentido, en España teníamos un sector muy preparado; más preparado incluso que el mundo académico: el mundo militar. En energía nuclear, los militares establecen un inicio, un fundamento importante.

España desde el punto de vista de la naturaleza ha sido muy hosca con la energía: el carbón, como consecuencia de una serie de fenómenos geológicos, se depositó sobre placas sedimentarias débiles que se rompieron, por lo que la extracción es cara, hay que lavar el carbón de impurezas y son placas muy delgadas; en la energía hidroeléctrica tenemos el carácter torrencial de los ríos, las etapas de sequía, no tenemos hidrocarburos y de repente descubrimos que tenemos uranio. Algo que no es muy abundante en la naturaleza a nivel mundial, resulta que en España lo teníamos. Es la primera vez que en el terreno energético, la naturaleza no era desagradable para España.

## Tercera Revolución Industrial

Ya tenemos dos activos importantes: el conjunto de personas preocupadas por el tema y el uranio. Y para la Tercera Revolución Industrial nos encontramos con un nuevo planteamiento energético considerable: se pasa a generar toda una serie de avances y un impulso nuclear importante.

Pero llega un momento en que compensa parar el avance nuclear a cambio de votos políticos. Es con el Gobierno de UCD cuando se empiezan a poner pegos al avance nuclear, y posteriormente llega Chernóbil. Nadie dice las condiciones en las que esa central estaba y que no tenía nada que ver con las centrales españolas. Vendrán los problemas de terrorismo, los asesinatos por Lemóniz... Cambia el Gobierno, llega Felipe González a la Moncloa y con todo esto, el parón nuclear; se para el avance nuclear.

## Consecuencias de la moratoria

Con el cambio de Gobierno se acelera un cambio en la política económica española. Las negociaciones que se habían iniciado con el Pacto de la Moncloa para un acercamiento comunitario se aceleran. Y a partir de 1985 ya entramos dentro de ese mundo comunitario. En 1986 estamos en la Comunidad Europea.

Cuando cogemos los balances comerciales españoles, vemos que el equilibrio siempre lo conseguimos cuando hay un superávit con Europa y un déficit con los pueblos que generan bienes energéticos, el mundo asiático y el americano fundamentalmente. Esto sucede hasta el día en que entramos en el mundo comunitario, el 1 de marzo de 1986. En el balance económico de febrero de 1986 vemos que está equilibrado: superávit con Europa y déficit con América. En marzo de 1986 pasamos a tener un déficit considerable con Europa que se suma al americano. España pasa a ser poco competitiva por multitud de factores, uno de ellos es que España está operando con una situación de energía cara. España ha abandonado, con el parón nuclear, la posibilidad de poder tener una energía barata y la necesita para desarrollarse.

A continuación de esto vino la política económica que trataba de compensar esta situación. Se acudió a una decisión, que generalmente castiga mucho el conjunto de una economía: los economistas y los técnicos sabían que había necesidad de mejorar tecnológicamente. En el Consejo de Ministros en que Boyer salió del Gobierno, planteó que quería la vicepresidencia y poder cambiar radicalmente la economía española. Una reconversión de la industria española suponía aumento de paro, problemas y decisiones muy poco políticas. Incluso se insinuó un volver a retomar la energía nuclear, para ser competitivos dentro del ámbito europeo.

El planteamiento era que había que aumentar del gasto público, eso generaría una situación de inflación, que se compensaría con altos tipos de interés. Entrábamos en el sistema monetario europeo, por lo que ofrecíamos a los extranjeros traer sus ahorros a España, invertir en nosotros, con altos tipos de interés y sin riesgo de cambio, con la seguridad que daba el estar en el mercado europeo. Éramos seguros, no necesitábamos reformar nada más. Y así fue. La reserva de moneda extranjera del Banco de España pasó a superar la que tenía Japón, máximo exportador en aquellos momentos. Fue una operación especulativa gigantesca que de pronto se detuvo.

Cae el muro de Berlín y llega la unificación alemana. Y Alemania, para reconstruir el nuevo territorio, decide subir también sus tipos de interés. Entre España y Alemania, Alemania es mucho más segura. Y los capitales se fueron de España. Llega el gran hundimiento de la economía española, que estuvo a punto de caerse del sistema monetario europeo.

A partir de 1992 y hasta 1996 se produce la gran crisis, cuya razón fundamental es que no hicimos ninguna mejora tecnológica para entrar en el mundo exterior. El Gobierno de Aznar y Rato hace una reforma consistente en poner orden dentro de nuestras magnitudes macroeconómicas para entrar en la “eurozona”. Pasamos a tener todo un conjunto de ventajas que había que afianzar a continuación.

Estas ventajas se obtienen hasta el año 2003. Los economistas en este año empiezan a señalar la necesidad de un cambio tecnológico para que todo esto no se venga

abajo, porque no estábamos creando una situación competitiva con el exterior. Y la cuestión fundamental, que destacan todos los economistas, era la carestía energética, había que plantearse todo el tema de generación de energía, y en especial la generación con energía nuclear.

Los primeros trabajos en este campo empezaron en el 2003 por parte de los economistas. El cómo se desarrolle, si se va a entrar en la energía de fusión, qué generación se desarrollará... esto es cosa de los técnicos. Pero lo que los economistas señalamos continuamente es que sin poner en marcha una alternativa energética nueva que genere energía dentro de España mucho más barata, es imposible seguir adelante.

España tiene unas condiciones muy especiales desde el punto de vista energético. Es un país raro en la OCDE, que se ve en términos de elasticidad: para aumentar una unidad del PIB necesitamos añadir una unidad adicional de energía. Mientras que todos los países de la OCDE están por debajo de una unidad adicional de energía para generar una unidad adicional de producto interior bruto, y en todos va bajando cada vez más la cantidad de energía necesaria para aumentar un punto el PIB, en España va en aumento. Esto plantea la exigencia: ¿podemos cambiar nuestra estructura productora de bienes y servicios? Sí, claro, podemos hacerlo, pero es complicado. Al menos, vamos a hacerlo con una energía barata.

El Libro Verde Comunitario señalaba las proporciones límite que era peligroso sobrepasar para depender de energía exterior. Hace unos años dependíamos de la energía primaria exterior en un 75%, ahora es del 85%. Esto nos coloca dentro de la Unión Europea en una extraña situación, como Malta, Chipre, etc, y con países como Grecia, Portugal o Italia. Hay que intentar salir de este bloque, tenemos que salir de esa situación de excesiva dependencia exterior, más cuando, además, tenemos minas de uranio y gente muy preparada en el campo nuclear.

Y se plantea un hecho en la actualidad dramático dentro de la economía española: se intenta impulsar el desarrollo de la misma. Entramos en la eurozona, tenemos tipos de interés bajos, la inflación era más alta que la subida de los tipos de interés, es decir, que los tipos de interés eran negativos. Por tanto, lo que se intenta es que España avance pero con mecanismos que no son competitivos en el mercado internacional. Avances a través del impulso de la industria inmobiliaria (¿quién va a traer casas del extranjero?) y a través del consumo doméstico con todas sus actividades económicas concretas.

Esto genera un impulso que supera, con mucho, el ahorro español, es decir, que para hacer esto, necesitamos acudir al ahorro exterior. Esto se manifiesta, en primer lugar, en que pasamos a tener una situación de incapacidad enorme para competir con el exterior, por la inflación, con precios más altos que en la eurozona y una nula

exportación. Se genera un incremento en la demanda a través de las empresas y de las economías domésticas, por lo que importamos más que exportamos. Asimismo, se ha necesitado, entre otras cosas, que vengan inmigrantes.

Y hace dos años la economía española cambia de panorama. Nuestra balanza comercial quedaba aliviada como consecuencia de lo que sucedía con la balanza por cuenta corriente. Pero desde hace dos años, la balanza por cuenta corriente tiene un déficit todavía mayor que la balanza comercial. Esto ha venido aumentándose a lo largo de los últimos años, hasta obtener los datos de los últimos doce meses (febrero de 2009), en que el déficit en la balanza por cuenta corriente alcanza la cifra de 144.000 millones de dólares, que como se acumula sobre lo anterior, da lugar a una situación de deuda externa tremenda.

Necesitamos urgentemente cortar esto. Y ¿cómo hacerlo, si toda una serie de mecanismos están actuando para frenar esa competencia? La energía tiene consecuencias directas e indirectas sobre el conjunto de los costes. En el momento en que se soslaya esa situación se agravan mucho más esas posibilidades de competitividad y se sigue acumulando deuda externa.

España ha entrado ya en la situación de tener crisis a nivel sudamericano. La deuda acumulada es tan grande que, ya no sólo tienen deuda las economías pequeñas, sino también el sector público. La reducción de gastos es impopular, luego se aumentan ciertas cargas impositivas, en concreto, el impuesto de sociedades. Esto origina que la inversión directa extranjera se desequilibra, pasa a ser, la que España hace en el exterior, muy superior que la que el exterior hace en España. Nuestro país colocó en el exterior durante 2007 del orden de 120.000 millones de dólares, y el exterior en España, 50.000 millones de dólares. Hay un hueco de 70.000 millones que han salido fuera.

Una de las soluciones es tratar de alterar todo esto. En el catálogo que hacen los economistas dicen lo necesario que es cambiar el I+D+i, cambiar el aspecto institucional, flexibilizar los mercados, volver al equilibrio del sector público, y cambiar el modelo energético. No hay economista solvente que en este momento no diga que es necesario cambiar el modelo energético en el sentido de la energía nuclear y en el de completar las redes eléctricas sin la superstición de que son dañinas.

## Conclusiones

Las consecuencias socio-económicas de la moratoria nuclear son tan importantes que generaron la crisis de los 90 hasta el 96 y están detrás de la crisis económica actual.

Y como vayamos camino del 2050 con la idea de tener el 100% de las energías renovables, con la idea de la generación de empleo y sin tener en cuenta los que eliminamos como consecuencia de no poder exportar, vamos hacia el hundimiento de la economía española.

Es vital que cambiemos el modelo actual por otro en el que se introduzca la energía nuclear. Aprovechémonos de los bajos tipos de interés para la construcción de centrales. Tener una nueva central de tercera generación tarda 10 años en ponerse en marcha. |•|

# I+D Nuclear: desafíos de hoy y mañana

LUIS ENRIQUE HERRANZ PUEBLA-CIEMAT

## Introducción

Actualmente nos hallamos a caballo entre la generación II y la generación III (+). Algunos países, fundamentalmente asiáticos, pero también no asiáticos, como Francia o Finlandia, están instalando reactores de generación III (+). La I+D que se realiza en el campo nuclear va encaminada a los reactores de generación IV. Como referencia, en la **[Figura 1]**, se esquematizan las diferentes generaciones de plantas nucleares de potencia.

Los primeros prototipos de reactores nucleares de potencia comenzaron a estudiarse en los años 50. Gran parte de la investigación sobre ellos se abandonó, porque surgió la generación II, con los reactores de agua ligera, que funcionaban perfectamente, tan perfectamente que se abandonaron otras líneas de investigación como se ha dicho anteriormente.

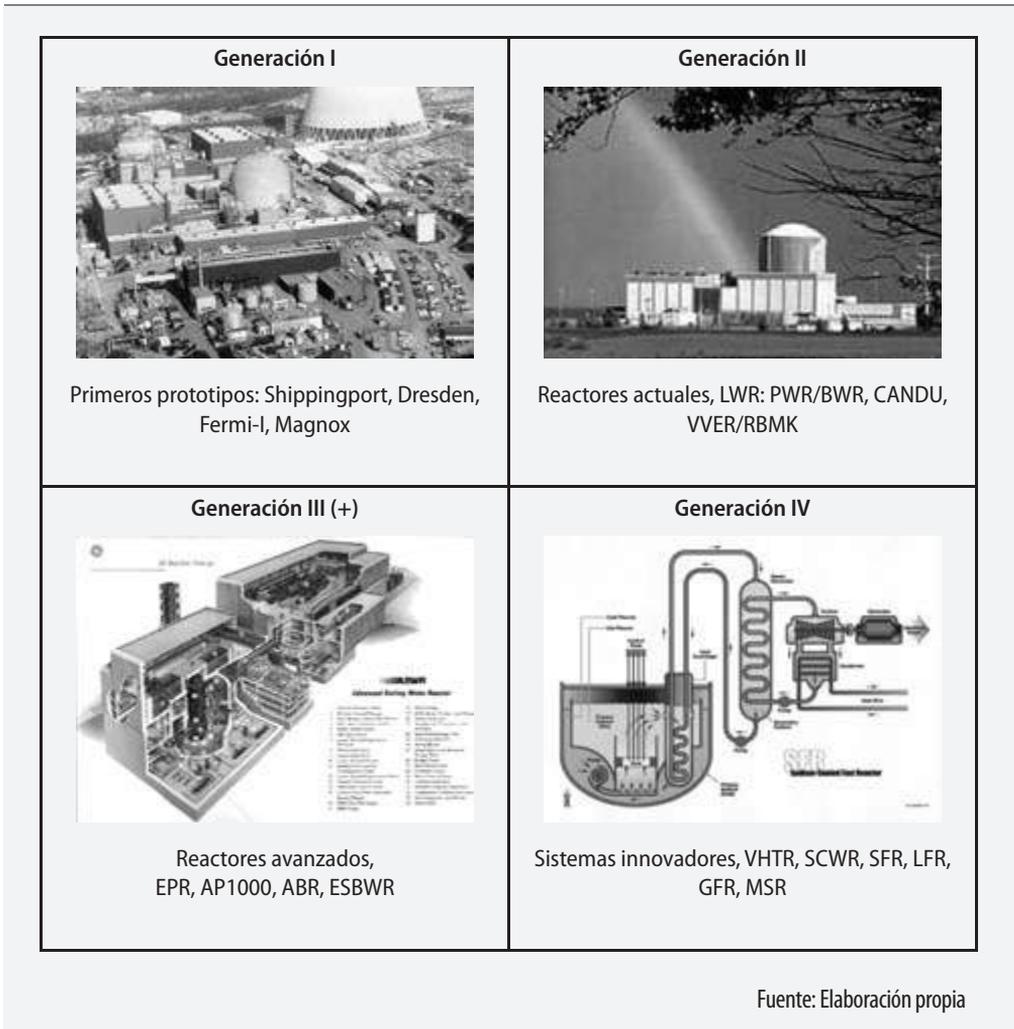
## Áreas de investigación

Las líneas de trabajos de investigación se pueden agrupar en dos pilares fundamentales: los reactores de generación II, y el resto, unido en un bloque como sistemas avanzados.

## Reactores actuales

La generación II está en operación con éxito actualmente, pero siempre es necesario hacer investigación en seguridad. La I+D que se realiza en el ámbito de la energía nuclear consiste en la elaboración de diversos programas de investigación, todos enfocados a *accidentes severos*. Se han logrado resultados que a veces no se han sabido apreciar en la medida de lo que valen, se han elaborado procedimientos de actuación en el caso de que esos sucesos extremadamente improbables, pero con

**|Figura 1| Representación esquemática de las distintas generaciones de reactores nucleares**



serias consecuencias radiológicas para la salud de las personas y el medio ambiente, se produzcan y se han desarrollado metodologías de simulación, basadas en teorías probabilísticas de análisis de riesgos, que permiten predecir qué sucedería en esas situaciones.

Y más allá de eso, de forma más pragmática, *se han logrado producir nuevos sistemas o componentes que resultan ser más seguros, porque son pasivos*. Por ejemplo, los recombinadores autocatalíticos pasivos, que en caso de presencia de hidrógeno y oxígeno no necesitan actuación ninguna del operador; van realizando la reacción hidrógeno-oxígeno de forma paulatina y progresiva sin crear ondas de choque que pueden afectar a la integridad del sistema.

Y otro tema dentro del grupo de los reactores actuales es la *extensión de su vida*. No existen razones objetivas para limitar la operación de los reactores a 40 años. En Estados Unidos ya hay 54 plantas autorizadas para operar más de 60 años, más del 50% de las centrales en funcionamiento. No existe una sola persona en el sector nuclear que acepte esta decisión de forma arbitraria, solamente se puede admitir si la continuidad de la operación pueda vulnerar la seguridad de la instalación.

La investigación se está enfocando en el *comportamiento de los materiales*. Existen componentes del reactor sometidos a tasas elevadas de neutrones rápidos que pudieran alterar su estructura; se están estudiando los materiales de las vasijas, tomando como referencia el análisis de los materiales de la instalación de José Cabrera en Guadalajara. También se están estudiando los cambios que se pueden producir en la estructura del combustible por dosis de irradiación más elevadas que permitan optimizar su utilización... Se pueden producir fallos en la vaina, la primera contención... Los motivos y las consecuencias de todo esto se analizan, junto con la utilización de nuevos materiales que permitan alcanzar mayores niveles de irradiación del combustible en los años próximos hasta los 60 años, conservando su integridad.

## Sistemas avanzados

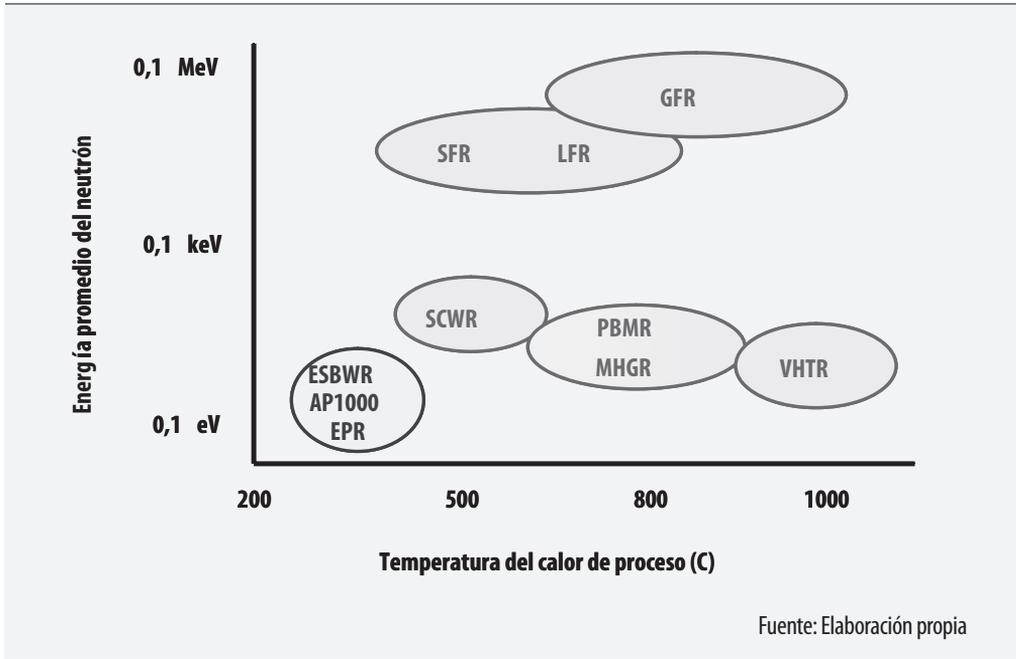
Gran parte de la investigación ya citada revierte en los reactores de generación III. Sobre todo en los evolutivos, porque, por ejemplo, los *recombinadores autocatalíticos* también se aplican en Estados Unidos o en el reactor que se está construyendo en Finlandia. AREVA los está construyendo también para los reactores de Francia.

En cuanto a los *sistemas pasivos*, incorporan sistemas que no precisan la actuación del operador durante, al menos, 3 días. Esto supone no sólo un incremento en la seguridad, sino un cambio de filosofía de sistemas de cierta complejidad a sistemas extraordinariamente simples. Hay que asegurar que las débiles fuerzas motrices que hacen que todos estos sistemas pasivos sean capaces de realizar su función de seguridad. El AP1000, ya certificado en Estados Unidos, ha demostrado mediante esa investigación, que así ocurre.

Los Sistemas Innovadores, sin lugar a dudas, son los que están absorbiendo la mayor parte de la investigación, precisamente por su carácter innovador. Sin ahondar mucho en esta idea, se pueden ver algunas características globales, para saber de qué diferencias se está hablando.

La generación III se está proyectando manteniendo el proceso de la fisión con neutrones térmicos y las temperaturas de extracción del calor del núcleo del mismo orden de magnitud que las actuales. En el gráfico de la **[Figura 2]**, donde en ordenadas se representa la energía promedia del neutrón que se aprovecha en la reacción de

**[Figura 2] Correlación entre la temperatura de operación de los reactores de III Generación + y reactores evolutivos y la energía de los neutrones responsables de las fisiones**



fisión y en abscisas, las temperaturas de proceso que son capaces de alcanzar las tecnologías, se podrían situar estos reactores en la zona enmarcada en la parte inferior izquierda. Se puede ver que los ESBWR, AP1000 y EPR se despegan de los otros grupos de reactores innovadores, que van a funcionar con neutrones térmicos, pero con mucha mayor temperatura, o los del grupo que operan a mayores temperaturas, pero van a aprovechar los neutrones rápidos producidos en la fisión. Este tipo de reactores va a permitir incluir, con conocimiento de causa, el adjetivo “sostenible” para energía nuclear, hablando de perspectiva de recurso natural de miles de años en lugar de cientos.

La diferencia entre los reactores de generación IV y los reactores actuales o de generación III está en el concepto de “*diseño integral*”. Esto significa que en su concepción, desde la etapa de diseño, ya se tienen en cuenta aspectos de todo el ciclo de combustible. Se tienen los siguientes ejemplos:

- *Ingeniería de ciclo y central*: el ICAI y el CIEMAT han realizado estudios en los se supone que el agua de refrigeración se encuentra en condiciones supercríticas, por encima de 220 bar de presión en lugar de utilizar un ciclo de potencia clásico, o incluso se supone que el reactor se refrigera con gas que alcanza temperaturas del orden de los 1.000°C, y utiliza ciclos de Brayton con las nuevas

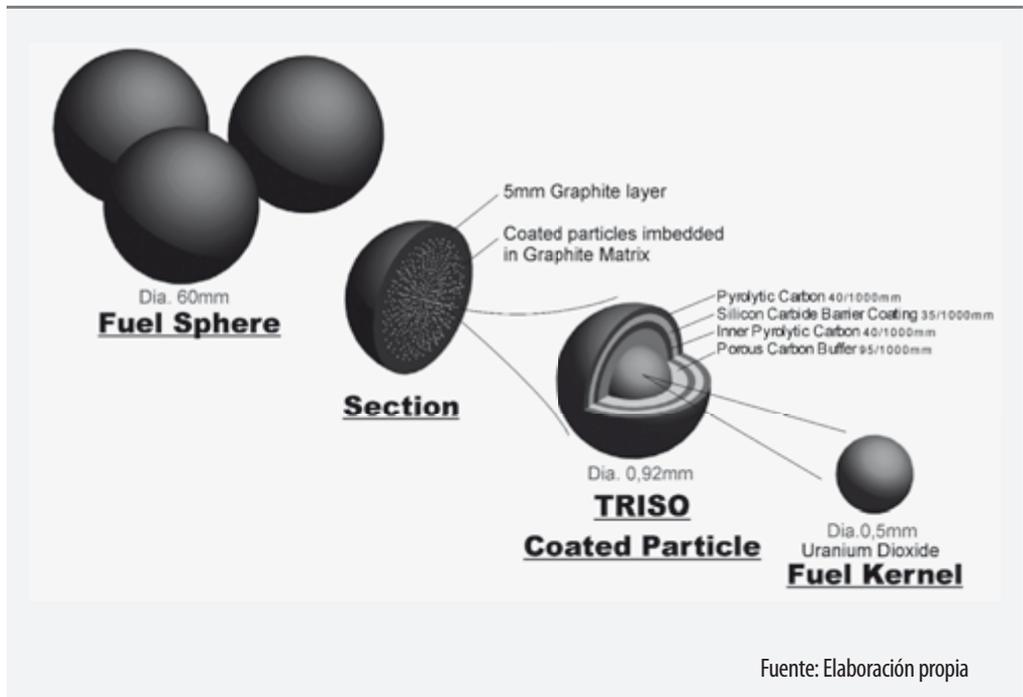
tecnologías de turbinas de gas incrementando así eficiencias del 35% al 45% o incluso al 50%.

- *Tipo de combustible*: para estos nuevos ciclos termodinámicos hacen falta nuevos diseños de combustibles. Se está haciendo investigación en el área del combustible con el fin de capacitar a los combustibles actuales para soportar los cambios de generación. Por ejemplo, se habla de pasar a combustibles en forma de partículas de 0,5 mm de óxido de uranio, embebidas en tres capas protectoras, que son la verdadera contención de estos reactores de alta y muy alta temperatura. Las capas son de compuestos de carbono-silicio. Y 15.000 de estas partículas de menos de 1 mm se meten en una esfera del tamaño de una bola de billar. Para un reactor de 400 ó 600 MW térmicos se tendrían del orden de 300.000 bolas en el interior de un reactor de varios metros de longitud. La **[Figura 3]** esquematiza este nuevo tipo de combustible.

Son cambios extraordinarios que requieren investigaciones de largo alcance. Se plantean alternativas al óxido de uranio, con óxidos mixtos de uranio y plutonio, torio, carburos y nitruros, que en su día fueron abandonados y que hoy se resucitan por si pudieran comportarse mejor en las nuevas condiciones de los reactores.

- *Gestión de combustible gastado*: cuando se extrae un combustible irradiado del reactor nuclear, el 94% de lo que queda es U-238, el 1% U-235 y el 1% Pu. Y en los reactores rápidos todos estos elementos son fisionables. Para los reactores

**[Figura 3] Nuevo tipo de combustible nuclear para un reactor de alta temperatura refrigerado por gas**



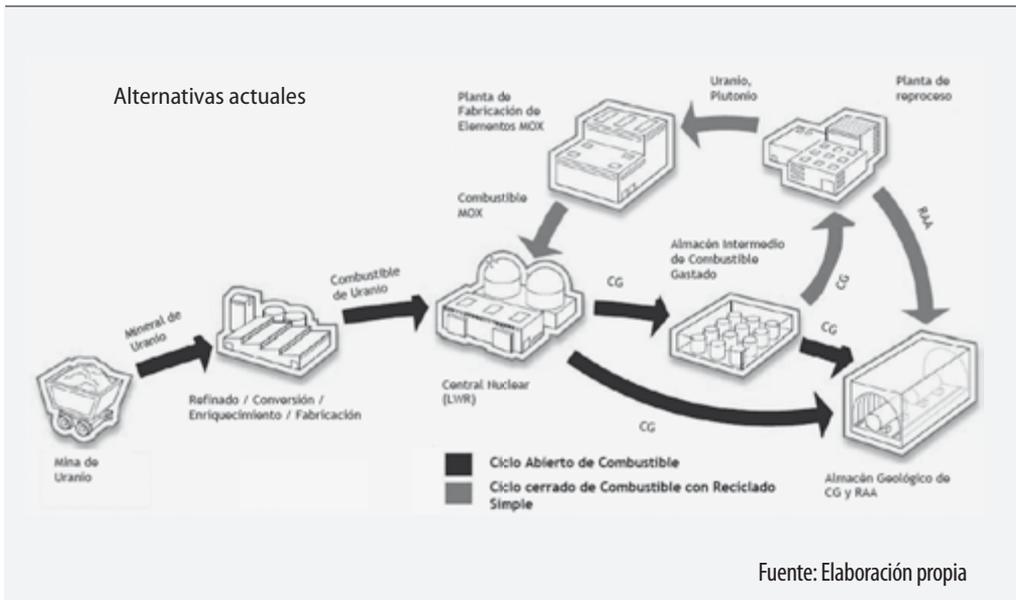
térmicos se tiene un material fisible más uno fértil. Estrictamente no se puede hablar de residuos, porque no lo son. Es un recurso natural que se puede aprovechar. También existen actínidos minoritarios, que igualmente son fisionables por neutrones rápidos, que tienen un periodo de semidesintegración muy largo y se podrían irradiar en un reactor rápido.

La estrategia actual en España es dejar que el combustible irradiado se enfríe radiológica y térmicamente en almacenamientos geológicos profundos, *ciclo abierto*. Es posible que no exista solución política, pero sí tecnológica. Y se sigue haciendo investigación para optimizar este tipo de almacenamientos. Pero si se quiere reducir el volumen de los residuos, reutilizar el combustible que aún está presente, con el consiguiente ahorro monetario y reducir la duración de la radiotoxicidad del combustible irradiado, se debe extraer el material fisible y fértil aún presente, separar los actínidos menores, pasando del ciclo de combustible tan largo a algo de un orden de magnitud menor, ciclo cerrado, tal y como se muestra en la **[Figura 4]**. En Francia, después del almacenamiento temporal reprocesan para extraer el uranio y el plutonio, hacen combustible mezclas de óxidos de plutonio y vuelven a introducirlo en el reactor.

Cualquier realidad de las que se están enumerando implica una utilización segura de la tecnología. Todavía se realizan labores de investigación, no porque no se conozcan los procesos, sino para lograr su optimización.

Ésta es la otra estrategia que se está estudiando: ¿Y si también se pudieran sacar los actínidos? Conceptualmente es sencillo. En la planta de reproceso se debería

**[Figura 4] Esquema de utilización de los combustibles nucleares en ciclo abierto y ciclo cerrado**



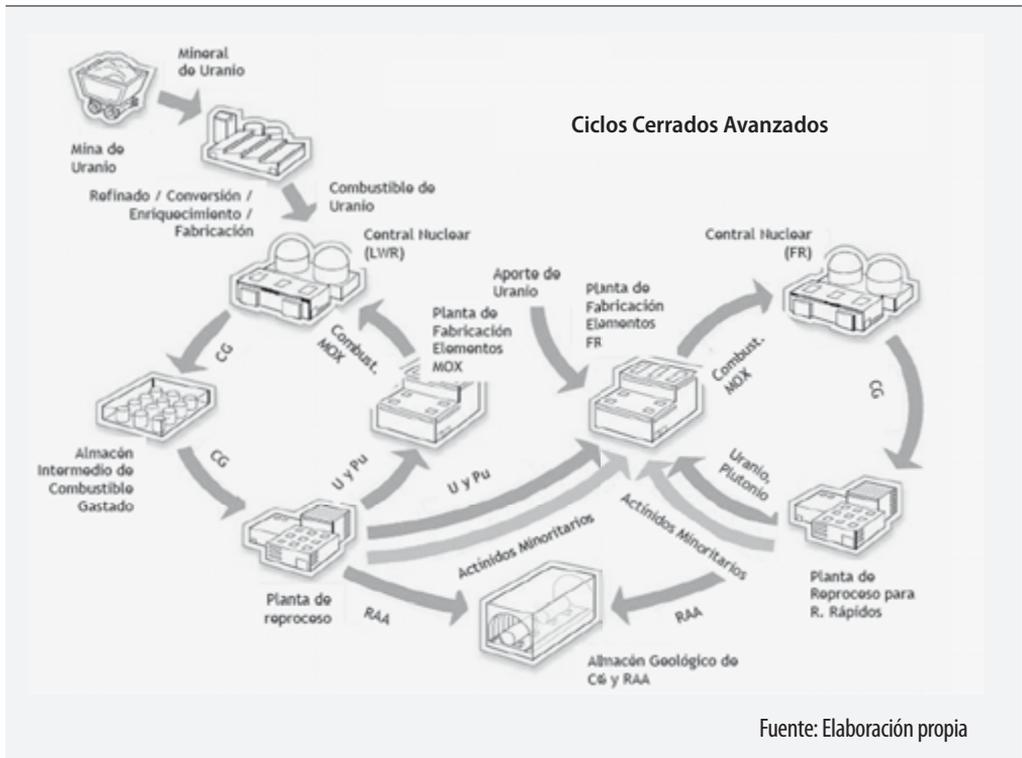
poder sacar el 0,1% e integrarlo en un reactor rápido o un sistema asistido por acelerador, que ya son capaces de hacer ese trabajo. Esos actínidos minoritarios sufren reacciones nucleares de fisión que los transforman en otros isótopos que duran menos y se enfrían antes (**Figura 5**).

- *Diversificación de mercado.* Los nuevos reactores pueden alcanzar temperaturas de 850-900°C, y esto abre nuevos mercados, nuevas industrias... La asociación de energía nuclear-calor de proceso puede abrir un abanico de oportunidades, especialmente considerando el nuevo vector energético del hidrógeno. Reactores de alta y muy alta temperatura podrían ser capaces de promocionar procesos termoquímicos, como el del azufre-yodo, para la producción de hidrógeno en cantidades masivas. También existe la electrólisis de alta temperatura.

Se pueden resumir como líneas estratégicas:

- Seguridad Nuclear: extensión G. II; diseño G. IV.
- Combustibles: propiedades y fabricación.
- Materiales: nuevos materiales y envejecimiento.
- Metodología de simulación: física multi-escala, CFDs...

**[Figura 5] Ciclo cerrado con separación de los actínidos minoritarios**



- Arquitecturas de sistema: concepto y demostración.
- Ciclos avanzados: separación y transmutación.
- Pre-normativa: indicadores y armonización.

## Entornos

Yendo de más pequeño a más amplio, en el *entorno nacional* existe la Plataforma Tecnológica de Energía Nuclear de Fisión, denominada CEIDEN, integrada por 57 organizaciones, cuyos objetivos eran inicialmente desarrollar actividades de I+D+i, fundamentalmente coordinar esfuerzos e “influir” en planes de I+D del gobierno, así como catalizar la cooperación internacional como “tarjeta de visita” de cada una de las organizaciones.

Los programas que están en marcha actualmente son de ingeniería civil, de reactores avanzados, de combustible nuclear y de nuevos materiales, con referencia a los materiales de Zorita. En cuanto a combustible nuclear, se tienen varios programas en curso, mirando a la segunda parte del ciclo de combustible (ZIRLO1, H2, Isotopía), para hacer que el almacenamiento temporal tenga plenas garantías no sólo para los intervalos actuales de irradiación sino más allá de éstos, llegando a niveles de irradiación del combustible muy superiores.

En el *entorno europeo* se tiene un esquema paralelo: la Plataforma Tecnológica de Energía Nuclear Sostenible. Es una plataforma tecnológica con 19 países europeos y más de 70 organizaciones. Los objetivos son la producción sostenible de energía nuclear con tres pilares fundamentales: los reactores de agua ligera, los reactores rápidos reproductores y los reactores de alta y muy alta temperatura, o las aplicaciones del calor a esas temperaturas.

Aquí se enmarca el renacimiento nuclear con la extensión de vida de la generación II y la generación III, junto con las investigaciones que requieren estas actividades incluyendo los criterios de extensión de periodo de aprovechamiento del recurso natural a miles de años utilizando otro recurso distinto del uranio.

Todas estas actividades exigen enfatizar la importancia de la formación y el entrenamiento de los recursos humanos. Esto se ha notado en las universidades americanas. Se empieza a ver en las universidades españolas y se ha visto en el máster del CIEMAT, donde colaboran empresas de todo el sector para definir cuál es el perfil que se requiere. Hay una necesidad de formación imperiosa porque no se llega a los 150 ingenieros necesarios. No sólo hace falta un entorno político estable, sino también recursos humanos y empresariales.

El VII Programa Marco de EURATOM ya está funcionando. Se incluyen temas como el AGP (Almacenamiento Geológico profundo), P&T (estudio de separación y

transmutación) y una parte muy importante del VII Programa Marco que se refiere a los recursos humanos, la movilidad y la necesidad de formación.

Más allá de Europa, saltando a la *escala internacional*, está la generación IV. Se eligieron seis diseños de un total de más de cien. Ya hay proyectos concretos de investigación por parte de 13 países más EURATOM en reactores reproductores refrigerados por gas, reactores supercríticos refrigerados por agua, reactores refrigerados por sodio, reproductores o reactores de muy alta temperatura. En la **[Figura 6]** se indica la participación internacional en los dos reactores rápidos, SFR y GFR, en el reactor con refrigeración supercrítica SCWR y en el de alta temperatura VHTR.

Por poner un ejemplo, en los reactores de muy alta temperatura hay países que investigan alguna de estas áreas: se estudian formas de producir hidrógeno, cómo se comporta el combustible, cómo soportan las condiciones de temperatura mucho más elevada...

Los reactores de muy alta temperatura se refrigeran por helio y el helio tiene la propiedad de ser inerte químicamente. A pesar de eso hay que ver la compatibilidad del helio con las estructuras del entorno. Estamos acostumbrados a temperaturas de 400°C y ahora estamos hablando de 900 a 1000°C, donde sabemos que la reactividad es exponencial con la temperatura.

Saltamos a otro entorno internacional: INPRO (IAEA) que es un foro de expertos “policy-makers”, la gente que de verdad elabora planes energéticos.

**[Figura 6] Participación internacional en los reactores innovadores**

	GFR	SCWR	SFR	VHTR	
Argentina					<p>Producción de H<sub>2</sub></p> <p>Combustible</p> <p>Ciclo de combustible</p> <p>Métodos computacionales</p> <p>Materiales</p>
Brasil					
Canadá					
China					
Estados Unidos					
EURATOM					
Federación Rusa					
Francia					
Japón					
Korea del Sur					
Reino Unido					
Sudáfrica					
Suiza					

Fuente: Elaboración propia

Están centrados en la metodología de evaluación de sistemas nucleares. Hay proyectos en 28 países, participando en evaluación, tecnologías precisas como refrigeración con sodio, reactores avanzados refrigerados por agua, en seguridad, sistemas pasivos e interfases entre el sistema productor de energía nuclear y producción de hidrógeno, temas de no proliferación o ciclos de combustible.

## Consideraciones finales

La investigación ha sido y es *imprescindible* para el desarrollo de la tecnología nuclear. Los retos que se plantean son tan *sobresalientes* como *emocionantes* para la investigación. No se debe hacer que los “futuros óptimos” comprometan la investigación de los “*presentes excelentes*”. Se debe seguir investigando en los reactores de segunda y tercera generación para mantener esa excelencia.

La investigación se está desarrollando a través de *marcos internacionales* de cooperación. El apoyo de la Administración nacional a la investigación nuclear es exiguo. La “realidad efectiva” en Europa es “tibia”. Se habla de energía nuclear de forma efectiva pero los recursos económicos asignados son muy bajos.

La realidad y la complejidad de tema exigen un cambio del actual discurso político. |●|

# CAPÍTULO VI

## La Tercera Generación Nuclear

### 1. Alianzas para la Seguridad del Suministro Energético

**Autor:** Fernando Micó

**Institución:** Areva

**Cargo:** Country Manager

### 2. Nuevos diseños y experiencia contrastada

**Autor:** José G. Aycart

**Empresa:** General Electric-Hitachi

**Cargo:** Director de GE Hitachi, España

### 3. La Tercera Generación Nuclear

**Autor:** José Emeterio Gutiérrez

**Empresa:** Westinghouse Electric, LLC

**Cargo:** Vicepresidente Regional



# Alianzas para la Seguridad del Suministro Energético

FERNANDO MICÓ – AREVA

## El grupo Areva

El elemento fundamental de la actividad del grupo Areva es la energía, con una integración vertical del negocio. La actividad se extiende desde la minería del uranio hasta la distribución de la electricidad a los consumidores últimos, atravesando todas las etapas de este ciclo. Extraemos el uranio en instalaciones propias, y realizamos los proyectos químicos necesarios para su conversión y su enriquecimiento. Fabricamos el combustible también en instalaciones propias, las empresas eléctricas lo utilizan en instalaciones diseñadas y construidas por nosotros; ayudamos al mantenimiento de dichas instalaciones y procedemos al tratamiento del combustible gastado después de su utilización, también en instalaciones propias. Preferimos utilizar la palabra “reciclaje”.

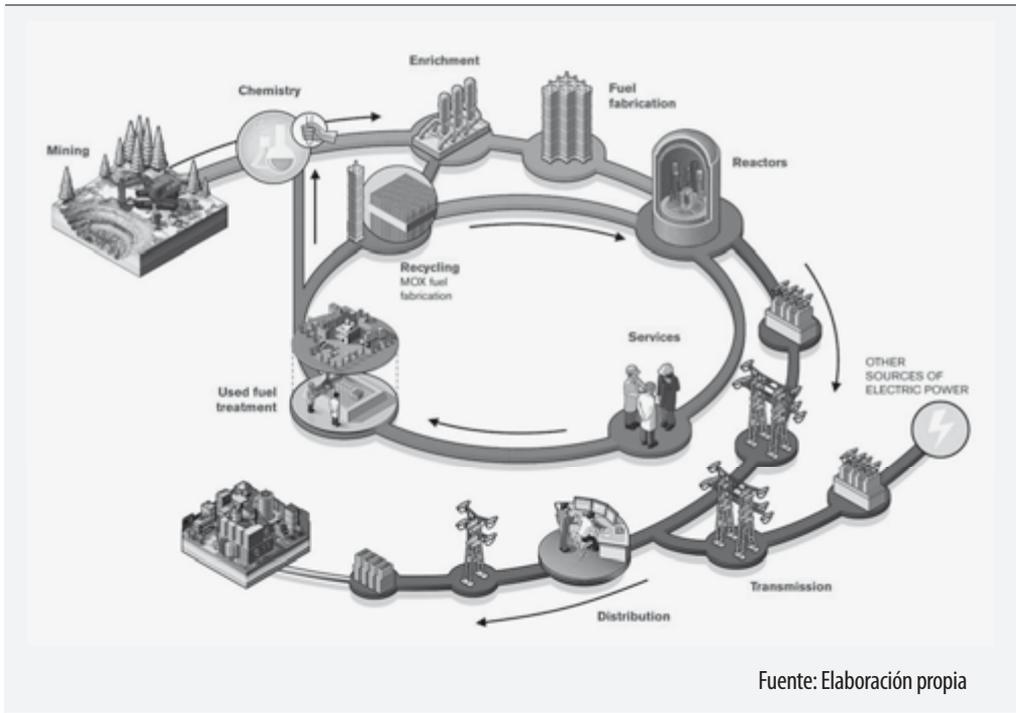
La actividad de Areva se extiende a las líneas de transmisión y distribución de la electricidad (**Figura 1**). Desde hace un par de años, para hacer frente al compromiso de nuestra empresa de generar electricidad libre de CO<sub>2</sub>, se ha establecido una línea de producto de energías renovables donde estamos muy activos.

Los principales datos de actividad económica en la empresa son unas ventas totales en el 2008 de más de 13.000 millones de euros y una cartera de pedidos por encima de 48.000 millones de euros.

La actividad está organizada en torno a cuatro unidades de negocio principales:

- Minería y procesos químicos asociados a la extracción del uranio,
- Reactores y servicios,
- Reciclaje del combustible,
- Transmisión y distribución.

**[Figura 1] Actividad de Areva**



Llevamos a cabo una actividad muy intensa, muy amplia, pero en un mundo que nos está planteando un reto global. La población mundial que requiere 2.500 años para crecer desde Adán y Eva hasta los 2.500 millones de personas en la humanidad, se va a multiplicar por cuatro en los próximos 50 años. Y todo este crecimiento demográfico imparable va a requerir energía para su crecimiento.

Eso es imparable. Es una necesidad, una demanda que no se le puede negar a nadie. Todavía hoy la mitad de la población mundial no tiene acceso a ningún tipo de energía y recurre a quemar lo que tiene más a mano cuando tiene necesidad de cocinar o de calentarse.

La **[Figura 2]** muestra la participación nuclear en el actual mix actual de energía eléctrica a nivel mundial, es la situación de partida de hoy en día. Y tenemos el compromiso con la sociedad de satisfacer las necesidades de las generaciones próximas.

## Tendencias del mercado

Areva ha previsto el escenario hasta el año 2030. En el 2006 había 372 GW eléctricos en operación, de ellos, se espera que antes del año 2030, unos 267 habrán alcanzado el

**[Figura 2] Participación nuclear en el actual mix de energía eléctrica a nivel mundial**

final de su vida útil; el resto, casi 200, tendrán una extensión de vida. Con lo cual, ante unas previsiones de necesidad de 635 MW eléctricos nucleares en el 2030, hemos calculado que será necesario construir 344 GW eléctricos nucleares para ese año.

La expectativa de necesidades que hemos hecho es una media entre las que han hecho otras organizaciones, unas más optimistas y otras menos.

Y, ¿cómo pretende Areva hacer frente a esa demanda? Es el “camino hacia la certeza” de que lo podemos hacer y lo confiamos al reactor EPR, que es un reactor evolutivo de tercera generación.

La elección de un reactor evolutivo tiene una base bastante sólida. El sector eléctrico nuclear es un sector muy intensivo en capital y bastante conservador. Pensamos que hay lugar para un reactor como el nuestro, que tiene un récord de operación, de seguridad y de comportamiento, avalado por un montón de años de experiencia en operación.

Areva nunca ha parado de construir centrales nucleares. Desde el año 50, incluso en los años más duros del parón nuclear, se están construyendo algunos reactores de segunda generación en China, con tecnología original de nuestra empresa.

## El EPR™ y proyectos a día de hoy

El reactor EPR representa lo mejor de la tecnología nuclear francesa y alemana. Su diseño comenzó cuando Framatón y Siemens eran empresas independientes y establecieron una asociación para el desarrollo de este reactor llamado NPI.

El EPR aún lo mejor del reactor KONVOI alemán, de 1.300 MW y el N4 francés, de 1.450 MW. Representa una plataforma muy segura, fiable y plenamente demostrada. Sobre un diseño ya plenamente probado, modifica alguna de las características del reactor PWR:

- Aumenta la potencia de la unidad hasta 1600 MW.
- Mejora los resultados operacionales con una eficiencia neta total que puede llegar al 37%, dependiendo de la temperatura del foco frío.
- Mayor disponibilidad de diseño, de hasta el 92%.
- Flexibilidad operacional, ya que se puede hacer el seguimiento de carga de hasta el 50% de potencia.
- Flexibilidad y mejora de la utilización de combustible. Está diseñado para utilizar hasta el 100% del combustible MOX.
- Diseño simplificado, al reducir sustancialmente el número de componentes dinámicos, que son potencialmente fuentes de no fiabilidad de este tipo de reactor.
- La seguridad mejorada.
- Es resistente a caída de aviones militares o civiles a diferentes alturas y desde diferentes ángulos.
- Incorpora un sistema de retención de fusión del núcleo en el improbable caso de que esta situación se diera.
- Incorpora cuatro sistemas de seguridad redundantes, con separación física. Esto permite un mantenimiento durante la operación, con acceso al reactor sin limitación.
- El diseño objetivo de la instalación es de 60 años de vida útil operativa.

El diseño presenta unas ventajas sustanciales desde el punto de vista del mantenimiento y de la operación:

- Seguridad del licenciamiento.
- Seguridad del proyecto.
- Maximiza la potencia por instalación.
- Disminuye los costes de O&M.
- Disminuye el consumo de combustible.
- Capacidad de seguimiento de carga.
- El diseño actual responde a requisitos actuales de seguridad e integra tendencias futuras.
- Diseñado para evitar fugas significativas al ambiente.
- Minimiza el impacto sobre el medio ambiente.

El diseño del EPR™ facilita el mantenimiento y acorta las paradas por recarga, facilita el mantenimiento preventivo durante la operación gracias a la redundancia cuádruple de los sistemas de seguridad, que permite el mantenimiento on-line, permite el acceso al edificio del reactor durante la operación y los trabajos preparatorios que reducen las recargas de combustible, además tiene la posibilidad de disponer de

áreas de espera más grandes, lo que facilita el almacenamiento de grandes equipos de servicio y mantenimiento.

Las fases de enfriamiento, despresurización y apertura del reactor son tan rápidas que acortan las paradas, que son fases críticas desde el punto de vista del programa.

Actualmente están en construcción varios proyectos de EPR™ y están en marcha otras posibilidades de negocio. Por ejemplo, en el Reino Unido hay dos EPR que van a ser construidos por EON, cuatro por EDF, once empresas eléctricas europeas que apoyan el diseño del reactor de Areva y, alguna de ellas, como EON, ya ha hecho una selección exclusiva del EPR como único a instalar en su mercado. El país más dinámico en estos momentos en el tema nuclear es Reino Unido. En Francia se acaba de anunciar el segundo proyecto de EPR, mientras en China también hay pedidos, con proyectos en marcha espectaculares.

Y hay un nuevo mercado que se abre en los Emiratos Árabes Unidos donde, en conjunto con otras dos empresas, tenemos la expectativa de construir dos reactores EPR. Lo interesante es que, al ser países que no disponen todavía de la infraestructura nuclear necesaria, estos proyectos incluirán también la operación de las centrales.

El EPR™ está siendo licenciado actualmente por las principales autoridades de seguridad. Tenemos licencia de construcción en Finlandia, con la construcción del reactor ya avanzada; también en Francia, en Estados Unidos, y China. Hasta diciembre del 2007 en que se presentó la solicitud de certificación en Estados Unidos, teníamos trabajando en la certificación del diseño a más de 250 personas *full time*.

En Estados Unidos, aunque ahora parece que el optimismo de hace unos años se ha moderado, hay algunas piezas importantes de los componentes principales que ya están en fabricación, por ejemplo en la central de Calvert Cliffs 3, las placas tubulares de los generadores de vapor que son items con plazos de entrega largos.

Algunos ejemplos de proyectos en fase de construcción se muestran en la **[Figura 3]**.

El contrato chino responde a la espiral de actividad de Areva. El alcance del contrato incluye el suministro de uranio y servicios de enriquecimiento hasta el año 2026, elementos de combustible durante más de 15 años, una fábrica conjunta para la creación de suministro de tubos de Zirconio para combustible, la construcción de dos reactores y una empresa conjunta de ingeniería para abordar el proyecto.

Algunos factores que consideramos importantes para garantizar el éxito de los proyectos son:

- Revisión en plazo de la documentación y organización del proceso de aprobación de la documentación técnica.
- Coordinación con autoridades de licencia y de seguridad lo antes posible.
- Disponibilidad de la cadena completa de suministradores cualificados. La industria española, por falta de mercado, se encuentra ahora en una situación de hacer un gran esfuerzo para recuperar el tiempo perdido. AREVA, en aquellos países en que hay actividad real, está haciendo un esfuerzo para incorporar la industria local a la cadena de valor con garantías.
- Disponibilidad de trabajadores y subcontratistas especialistas en construcción “nuclear-ready”.

Hay dos aspectos que estamos queriendo dar al negocio nuclear en base a las experiencias recientes de nuestra empresa: uno es dar a nuestros clientes la consideración de “socios estratégicos” de los proyectos. Estos clientes, que ya han seleccionado la tecnología EPR tienen una importancia fundamental. En concreto, el proyecto de los Emiratos Árabes es muy particular. Tienen unos recursos de petróleo enormes,

**[Figura 3] Ejemplos de proyectos en fase de construcción**

 	 
<p><b>Olkiluoto 3</b></p> <p>Septiembre 2008. El domo de contención se está construyendo en Polonia, y lo trasladarán en breve a Finlandia.</p>	<p><b>Flamanville 3, Francia</b></p> <p>La puesta en marcha está prevista para el 2012. Ya están dos unidades completas, y se ve cómo se está acabando la 3ª.</p>
	
<p><b>Taishan 1&amp;2, China</b></p> <p>En fase de explanación del emplazamiento. Y una imagen de ordenador del aspecto final.</p>	<p>Fuente: Elaboración propia</p>

pero dependen mucho del gas y han decidido anticiparse a la situación que van a tener de carencia de petróleo, construyendo una flota de reactores que tendrán que ser operados por otros mientras ellos no puedan hacerlo.

## La disponibilidad de los recursos

Y el otro aspecto es el tema de los recursos. Queremos satisfacer un tercio del mercado nuclear de los próximos años, pero para eso se necesitan recursos. Muchos de ellos los tenemos y otros hay que prepararlos. Hemos lanzado un proyecto llamado *Bridge the Gap*, traducido como “llenar un vacío”. Consiste en llenar el vacío en el aspecto del combustible necesario para la operación de las centrales, en recursos humanos y en capacidad industrial, necesaria para completar estos proyectos.

Y en el tema de residuos, no sólo para las nuevas centrales, sino también para las centrales en operación actualmente, estamos haciendo grandes inversiones, tanto en minas como en las instalaciones de conversión. En las instalaciones de enriquecimiento estamos construyendo una enorme instalación en Francia con un presupuesto de 3.000 millones de euros y otra en Estados Unidos. Y en el tema del reciclado, que debe acompañar al renacimiento nuclear, tenemos el reactor EPR, diseñado para utilizar combustible reciclado.

El tema de los “talentos” es una de las carencias más graves del futuro. Si no se hace una planificación adecuada de la misma va a ser un cuello de botella importante. Los departamentos de recursos humanos de la empresa están al borde del paroxismo. Hemos estado contratando casi 1.000 personas al mes durante los últimos dos años, y es que contratar gente no sólo es el contrato, hay que formarla, integrarla y es muy complicado. Es un tema que ya se ha tratado con anterioridad.

En el aspecto de la capacidad industrial, la política de integración vertical del negocio nos permite controlar muy bien los plazos de ejecución de los proyectos. Los componentes claves, como son los componentes primarios, bombas primarias y las grandes forjas se hacen mediante un desarrollo industrial interno para controlar estos elementos.

No es que estemos construyendo solamente una central nuclear, estamos construyendo todo un sector industrial propio en aquellos elementos que constituyen el plazo de entrega de las centrales nucleares y mediante la localización en los países en los que tenemos actividad, una integración máxima de la industria local.

## Conclusiones

Disponemos de todos los elementos necesarios para que el ‘Renacimiento Nuclear’, que no está por venir, sino que está aquí ya, sea un éxito para nuestros clientes.

Tenemos una tecnología madura soportada por muchísimos años de experiencia operativa con éxito.

Disponemos de lecciones aprendidas en los últimos proyectos y vamos a disponer de los recursos humanos necesarios para garantizar los plazos de entrega. |•|

# Nuevos diseños y experiencia contrastada

JOSÉ G. AYCART- GENERAL ELECTRICS-HITACHI

## Introducción

Estamos viendo ya síntomas de la importancia del papel que tiene que tomar la energía nuclear a la hora de afrontar los retos que la sociedad tiene delante. La independencia energética, el cambio climático y la crisis económica que estamos atravesando son áreas en las que la energía nuclear jugará un destacado papel.

## GE Energy. Soluciones diversas

Dentro de la cartera de ofertas en el área de energías que GE ofrece, la energía nuclear es una más entre otras. Se cubren prácticamente todas las áreas: gas, solar, carbón limpio, hidroeléctricas, biomasa, pilas de combustible y nuclear. Es un negocio con presencia en más de 100 países, con 125 años de antigüedad, con 500 emplazamientos en todo el mundo y del orden de 34.000 personas empleadas.

La energía nuclear siempre ha estado presente. GE puede ofrecer a los países y a las empresas eléctricas soluciones en todas las áreas que les demanden. Y teniendo en cuenta que no le mueve ningún interés específico en lo nuclear, tiene por ello una neutralidad a la hora de decir, afirmar y alertar que el mix energético tiene que estar suficientemente equilibrado.

Desde un punto de vista empresarial, GE podría vivir prescindiendo de alguna de esas fuentes, pero desde un punto de vista de responsabilidad social, tienen la obligación de decir a la sociedad que es muy importante para el desarrollo de un país tener un mix energético apropiado, en el que la energía nuclear debe jugar un papel fundamental.

## GE & Hitachi, trayectorias paralelas

La alianza de GE con Hitachi se creó en 2007. Hay que tener en cuenta que la historia de ambas empresas en el área nuclear se remonta a los años 50. En esos años no existían la mayoría de las cosas que ahora utilizamos, como teléfono móvil, ordenadores portátiles, ni siquiera televisiones, todas ellas, cosas tan pedestres que hoy tenemos en todos los hogares. Y entonces los niños se sorprendían con cosas como un mero transistor o el lanzamiento de los primeros satélites alrededor de la Tierra.

Es una perspectiva muy lejana la que habría que abordar para poder ponernos en aquella situación. Pero ya entonces los ingenieros de las dos empresas empezaban a pensar en una forma de producir electricidad a partir de la fisión atómica y empezaban a convertir algunas de aquellas ideas en realidades. Primero fueron los reactores experimentales para demostrar los conceptos y después, diseñando y construyendo reactores nucleares a nivel comercial.

En los años 70 y 80 se empezaron a construir plantas mayores en Japón. Y a partir de los 80 y 90 comenzó el desarrollo de las plantas nucleares avanzadas, como el ABWR.

Estos diseños de tercera generación entraron en operación en Japón hace más de 10 años, a mediados de la década de los 90, en 1996 en concreto. A continuación de eso se construyeron otros dos más en Japón y, actualmente, hay 4 más en construcción en Japón y Taiwán.

En aquel momento se estaban utilizando las capacidades más avanzadas de ingeniería y fabricación, pero con el tiempo se ha tenido la oportunidad de aprovechar el continuo impulso en el desarrollo y la construcción para llegar al día de hoy en unas condiciones de poder ofrecer a la sociedad y a las empresas eléctricas los diseños aún más avanzados.

En el año 2000 se consolidó la relación entre GE e Hitachi mediante la combinación de operaciones en la fabricación de combustible. Se crearon las mayores capacidades de combustible BWR en el mundo. En el 2006 se produjo una nueva expansión gracias al desarrollo de un nuevo negocio que ha sido la separación de los isótopos de uranio mediante la excitación por láser. Ésta es una tecnología que en los próximos años será de utilidad en el área del enriquecimiento de uranio.

En el 2007 se produjo el paso más reciente de la relación, que fue la formación de la sociedad o alianza nuclear mundial que se llama GE-Hitachi. Consideramos que, así como ha sido el hito final de los primeros 50 años de historia, va a ser también el primer paso hacia una nueva era en la innovación.

## BWRs en el mundo

Actualmente hay en operación 94 reactores de agua en ebullición en el mundo, que proporcionan cerca del 25% de la electricidad generada por energía nuclear en todo el mundo. 63 de ellos fueron diseñados y fabricados por GE-Hitachi y los 31 restantes han sido fabricados por sus socios licenciatarios.

Estos diseños, junto con los otros 300 reactores aproximadamente de otras tecnologías, están proporcionando hoy en día del orden del 20% de la electricidad mundial. Han alcanzado un nivel de excelencia operativa que demuestra claramente que el sueño que comenzó hace 50 años es hoy una realidad y que la energía nuclear es factible tanto desde un punto de vista de seguridad como económico.

Esto es un esfuerzo que no sólo implica al tecnólogo. Las industrias nacionales, los países, las administraciones y las empresas eléctricas han apostado por este tipo de tecnología. Por tanto, hay que hablar de un esfuerzo realmente notable de muchos sectores sociales que han hecho posible esta realidad hoy en día.

## Evolución del diseño BWR

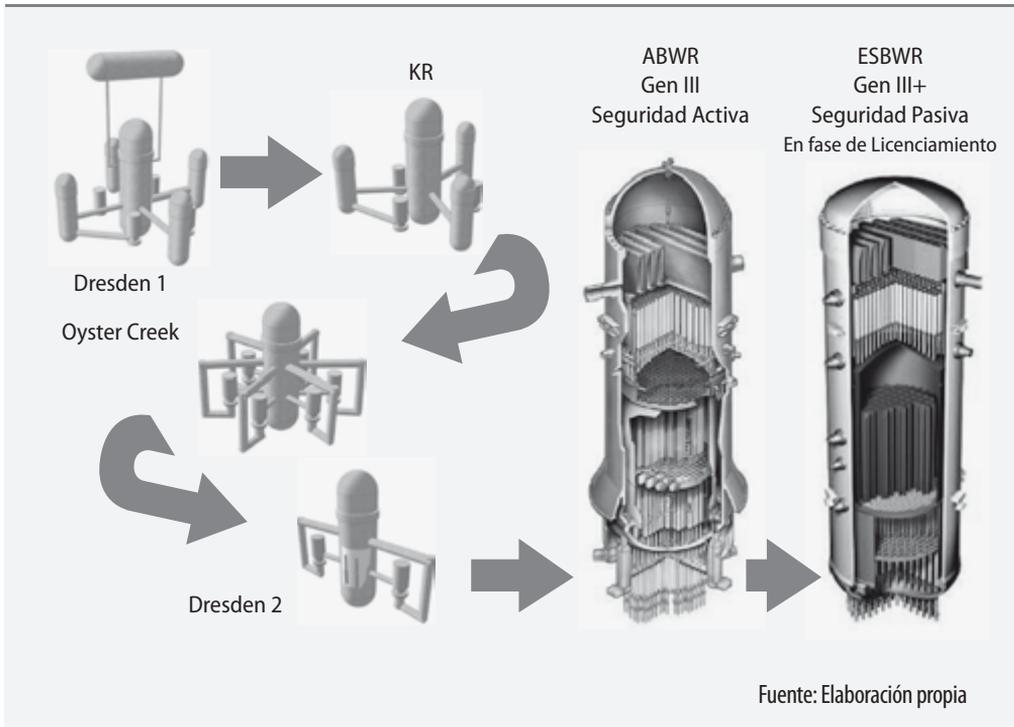
El diseño inicial del BWR ha evolucionado de una manera muy drástica. Después de diferentes modificaciones, el diseño que se presenta hoy en día es totalmente distinto al original que se puso en operación en los años 50 (**Figura 1**).

Los técnicos de GE-Hitachi pensaron que se podría simplificar el diseño haciéndolo más fiable, menos costoso de producir, de operar y de mantener, originando menos dosis y produciendo menores volúmenes de residuos, con mayor nivel de seguridad.

En un principio, como el reactor de Dresden, parecían reactores de agua a presión, incluso con generadores de vapor. La primera simplificación fue eliminar estos elementos, alcanzando un 100% de separación de vapor dentro del propio reactor.

La siguiente simplificación consistió en reducir el número de lazos de circulación mediante un mayor caudal de recirculación desde el interior del reactor, gracias a la innovación introducida por las bombas de chorro. Y la tercera mayor evolución fue el desarrollo de un reactor ABWR que eliminaba completamente los lazos de recirculación, incorporando otras tecnologías avanzadas que hoy en día otros reactores están intentando implementar. Finalmente, el cuarto paso ha sido el diseño del reactor ESBWR, siendo “ES” las siglas de “económico” y “simple”. En este modelo se eliminarán completamente las bombas de recirculación, empleando meramente la circulación natural y, por tanto, basará su operabilidad en conceptos de seguridad pasiva, en la utilización de las fuerzas de la naturaleza.

**[Figura 1] Evolución del diseño BWR**



Los ABWR que están en operación desde hace 10 años en Japón tienen la mejor fiabilidad de todas las plantas japonesas hoy en día, producen las dosis más bajas, menor cantidad de residuos y se espera que en el próximo año el ESBWR tenga estos valores aun mejorados.

Con la eliminación de las grandes penetraciones asociadas a los lazos de recirculación, el combustible estará siempre cubierto de agua, incluso en el caso de un accidente base de diseño, los factores de sobrecalentamiento no se contemplan.

## Nuevas unidades y productos

Hoy en día presentan dos líneas de producto, el ABWR y el ESBWR, que se consideran de generación III y III +.

El reactor ABWR es el reactor más avanzado y simplificado de los que actualmente están en operación. Presenta tasas de dosis y volúmenes de residuos comparables a los mejores reactores de agua a presión en operación. Incluyen los más avanzados equipos en cuanto a movimiento de barras de control y bombas de recirculación interna.

Otros factores que incorpora son la instrumentación y control completamente digital, una red de fibra óptica en toda la planta y sistema de arranque y de parada automático.

Se ha demostrado que los periodos de construcción experimentados en Japón han sido del orden de 39 meses desde el primer hormigón hasta la carga de combustible.

El ESBWR es la siguiente evolución de la tecnología de los reactores de agua en ebullición. Va a representar un diseño cuyos conceptos se sustentan en las fuerzas de la naturaleza como gravedad, evaporación y la circulación natural, tanto en condiciones de operación normal como en accidentes. Actualmente está en revisión por la NRC americana con un plazo de certificación de finales del 2010.

## Tecnología de construcción modular

La tecnología de construcción modular permite construir hoy en día las plantas en un plazo y coste menores, según lo planificado. Las técnicas de construcción modular permiten primeramente mejorar la calidad, garantizar el cumplimiento en coste y acortar los tiempos de construcción hasta plazos de 40 meses.

Los nuevos métodos incluyen la construcción de módulos prefabricados en las fábricas y el montaje en el emplazamiento de grandes bloques.

Esto permite construcciones en paralelo ensamblando los diferentes elementos en el emplazamiento como un mecano.

Todo ello reduce la mano de obra en el emplazamiento y permite maximizar las construcciones en las propias fábricas (**Figura 2**).

Hoy en día GE-Hitachi se beneficia de haber mantenido un nivel ininterrumpido de construcción de proyectos en Extremo Oriente, en Taiwán y en Japón, lo que ofrece la ventaja competitiva de mantener el nivel durante los últimos 15 años.

Como consecuencia, no sólo se han mantenido las capacidades críticas necesarias para garantizar la calidad y ejecución en tiempo y coste, sino que también se han perfeccionado nuestra experiencia, la cadena de suministro y las técnicas de construcción modular para incrementar las garantías de éxito en futuros proyectos.

## Colaboración con la industria nacional

También quisiera mencionar el continuado apoyo que hemos prestado a la industria nuclear española, desde los años 70 y 80, no sólo en el país, sino en otros proyectos

**[Figura 2] Nuevos métodos de construcción**



Fuente: Elaboración propia

en el mundo. Debo decir que no ha sido desinteresado, altruista, porque sí... sino que ha sido posible gracias a las capacidades nacionales tantas veces demostradas en competencia con la industria de países en teoría más avanzados. La industria nacional está en condiciones de competir globalmente en cualquier país del mundo de cara al futuro 'Renacimiento Nuclear'.

Sin embargo, estaría en mejores condiciones si el país apostara por nuevos proyectos nucleares. El tema nuclear se está revitalizando en muchos países, en los que crecen industrias locales especializadas, por lo que la competencia cada vez será mayor y este proceso se irá desarrollando con la proximidad de nuevos proyectos.

Sería una lástima, en estos momentos en los que tanto se habla del cambio de modelo económico, que la industria nuclear que ha demostrado su valía, perdiera parte de esa competitividad.

## Conclusión

En resumen: en GE-Hitachi están convencidos de que la energía nuclear tiene un brillante futuro por delante. Habrá países donde se le dé mayor importancia que en

otros, pero a nivel mundial el futuro es evidente y la solución a los retos derivados de la independencia energética y del cambio climático, así como factor que ayudará a la recuperación económica y que España y la industria española deberían hacer todos los esfuerzos para estar ahí. Sería una verdadera lástima que en el cambio de modelo económico que pretendemos afrontar se perdiera una tecnología más que consolidada.

GEH aporta más de 50 años de experiencia y liderazgo tecnológico. Aporta soluciones basadas en nuestro amplio conocimiento en todas las áreas de generación eléctrica, que también redundan en beneficios para lo nuclear y una ejecución de proyectos basados en experiencia constatable, al tiempo que renovamos nuestro compromiso hacia la industria nuclear. |●|



# La Tercera Generación Nuclear

JOSÉ EMETERIO GUTIÉRREZ-WESTINGHOUSE ELECTRIC, LLC

## Introducción

La decisión que han tomado muchos países de construir centrales nucleares no es una quimera. No es algo que vendrá en el futuro. Actualmente, se están construyendo centrales de generación III y III+ y proyectos que se están lanzando.

Westinghouse es una empresa de sobra conocida, con presencia importante en España desde hace muchos años. Una empresa que, después de muchos avatares, ha conseguido ser puntera en tecnología nuclear y focalizada en esa área: es una empresa nuclear.

Recientemente ha sido adquirida por Toshiba, una multinacional japonesa. La combinación de las capacidades nucleares de ambas empresas está reforzando su posición en distintos sectores del área nuclear.

Westinghouse ha mantenido históricamente una fuerte presencia en España. En las oficinas de España trabajan 350 personas en el mercado nacional y el internacional, con 60 ó 70 trabajando para los proyectos AP-1000 en Estados Unidos y China desde las oficinas de Madrid. Esto es indicativo de la importancia que la industria nuclear española ha tenido, tiene, y espera tener en el futuro.

## Evolución de la tecnología nuclear

La energía nuclear es tecnología y, por tanto, la evolución ha sido continua, independientemente de los parones que ha tenido. Todas las empresas han estado invirtiendo y desarrollando nuevas centrales. Cuando hablamos de generación III y III+, estamos hablando de centrales que refuerzan de manera significativa la seguridad de la operación. Pero además, ponen el énfasis en la simplificación, en la modularización y en la rapidez de la construcción.

Vendrá la generación IV, no tardará mucho. Y además de todos los temas de seguridad se hará especial hincapié en la eficiente utilización del combustible nuclear, con avances muy significativos. Esa generación IV no tardará mucho en llegar.

Los reactores actuales, que llamamos de generación II, son reactores que están operando de manera extraordinariamente segura; hoy todavía se siguen construyendo reactores de generación II en algunos países. La tecnología avanza y las generaciones III y III+ mejoran significativamente la seguridad, pero eso no significa que los de generación II no sean seguros. Incorporan otras muchas cosas.

## **AP1000. Características avanzadas**

Westinghouse empezó ya hace bastantes años a desarrollar el concepto futuro y trabajamos sobre la idea de desarrollar el AP-600. Posteriormente pasó a ser el AP-1000, un reactor de 1.100 MW que incorpora fundamentalmente características de seguridad pasiva. Es la primera y más importante característica de este reactor que Westinghouse ofrece.

Se trata de un reactor certificado por la NRC. En este momento se está certificando una enmienda, pero es el primero de esta generación certificado en Estados Unidos.

Se basa en una serie de ideas. Una de ellas es de diseño estándar. La idea del diseño completado y finalizado previo a la iniciación de la construcción, la modularización en la construcción y la forma en que la construcción se va a ejecutar, todo ello está basado en la experiencia que también Toshiba tuvo en la construcción de los reactores en Japón. Todo ese conocimiento se está trasladando a los proyectos de AP-1000 que ya se están ejecutando.

Además incorpora, como todas las tecnologías avanzadas, tecnologías de digitalización y simulación de la construcción del reactor.

De manera un poco más específica, además de estas características descritas, el AP-1000 y los nuevos reactores trabajan la idea de mayor eficiencia. Trabajan con factores de carga entre el 90 y el 95%. Los reactores de generación II están en torno al 85%, aunque algunos superen el 90%. Con el AP-1000 se espera superar valores del 95% de factores de carga.

Hay una reducción de residuos considerable, por ello se trabaja con vidas de diseño de 60 años. Hay gran confusión hoy día entre la vida útil y la vida de diseño, la vida de la central de José Cabrera era de 36 años, mientras que su vida real de operación en el momento del cierre era de menos de 25 años. La condición en que

los materiales de la central se encontraban podían durar mucho más, sin tener nada que ver con la vida de “carnet de identidad” de la central. El concepto de vida de diseño y de vida útil es muy significativo.

Por la forma en que las nuevas centrales están diseñadas y por cómo van a operar, los costes de operación y mantenimiento se reducen significativamente.

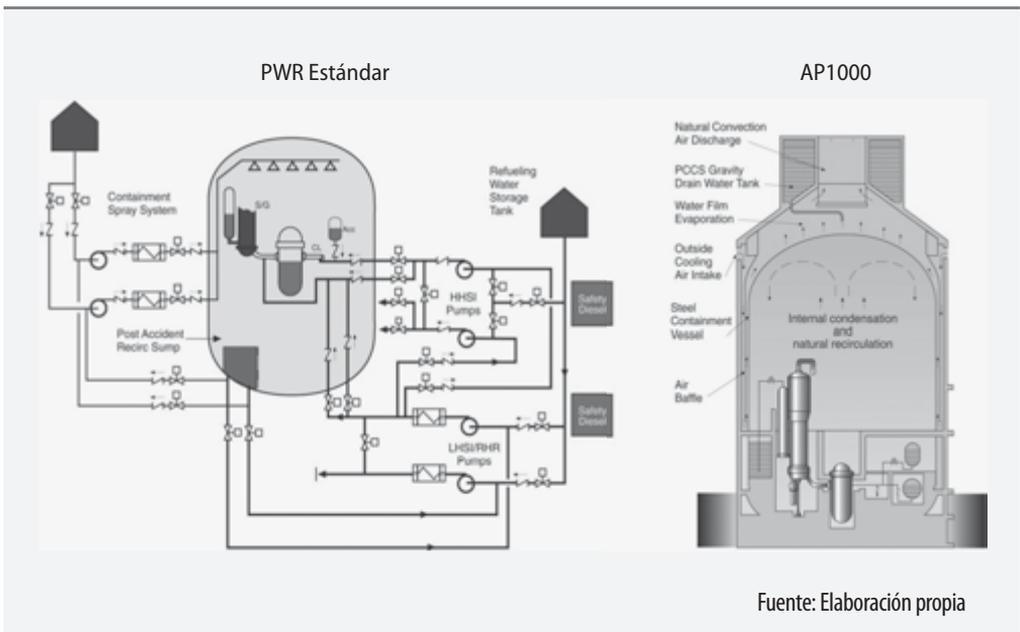
## AP1000. Seguridad simplificada

Uno de los conceptos importantes de esta nueva generación es que la seguridad aumenta. Y basado en un concepto importante: que son más simples. Al ser más simples, reducimos determinados sistemas y eliminamos determinadas posibilidades de accidentes por el propio diseño. Es decir, incorporamos en el diseño los conceptos de seguridad.

Podemos ver en el esquema de la **[Figura 1]** las diferencias entre un PWR de Westinghouse estándar y lo que va a ser el sistema de diseño del AP-1000.

Se basa fundamentalmente en sistemas de circulación natural, condensación, etc., que no necesitan fuentes externas de energías para su activación. Es un concepto tremendamente importante en la seguridad pasiva.

**[Figura 1] Diferencias entre un PWR estándar y el sistema de diseño del AP-1000**



Las funciones de seguridad del reactor se activan sin fuentes externas de energía y prácticamente sin intervención humana, ya que los sistemas actúan automáticamente por la forma en la que están diseñados.

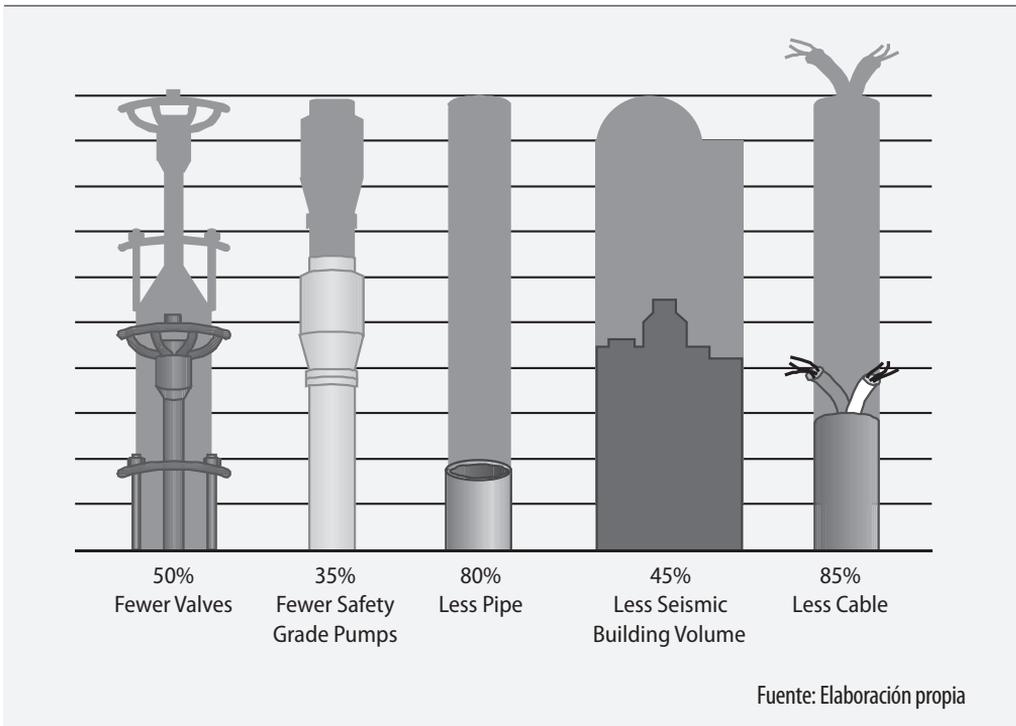
Los sistemas de seguridad se basan en condensación, circulación natural y evaporación, es decir, en la utilización de las fuerzas de la naturaleza en la operación del reactor.

## AP1000. Diseño simplificado

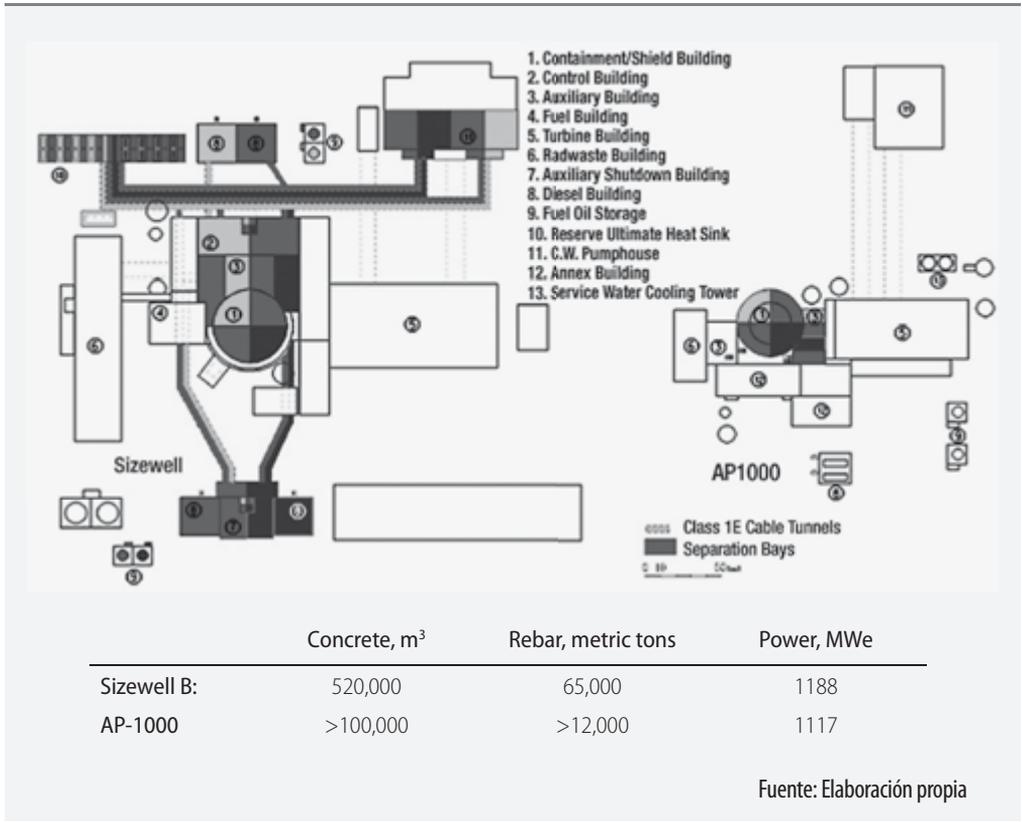
Es un diseño en el que se reducen significativamente componentes, por la idea de seguridad pasiva y por la forma en que operamos el reactor, del orden del 50% de las válvulas, bombas, tuberías, etc. ([Figura 2]). Es un reactor más compacto, más sencillo, que permite una construcción más rápida y una operación más eficiente y simplificada.

La [Figura 3] muestra la comparación con la construcción del último reactor que Westinghouse construyó en Europa y en Reino Unido. Podemos comparar la “huella” del

[Figura 2] Reducción significativa de componentes



[Figura 3] Comparación entre el Sizewell B y el AP-1000



reactor y la del AP-1000. Dependerá de cómo sea la configuración final, pero se está utilizando más o menos la mitad del terreno que en Sizewell B.

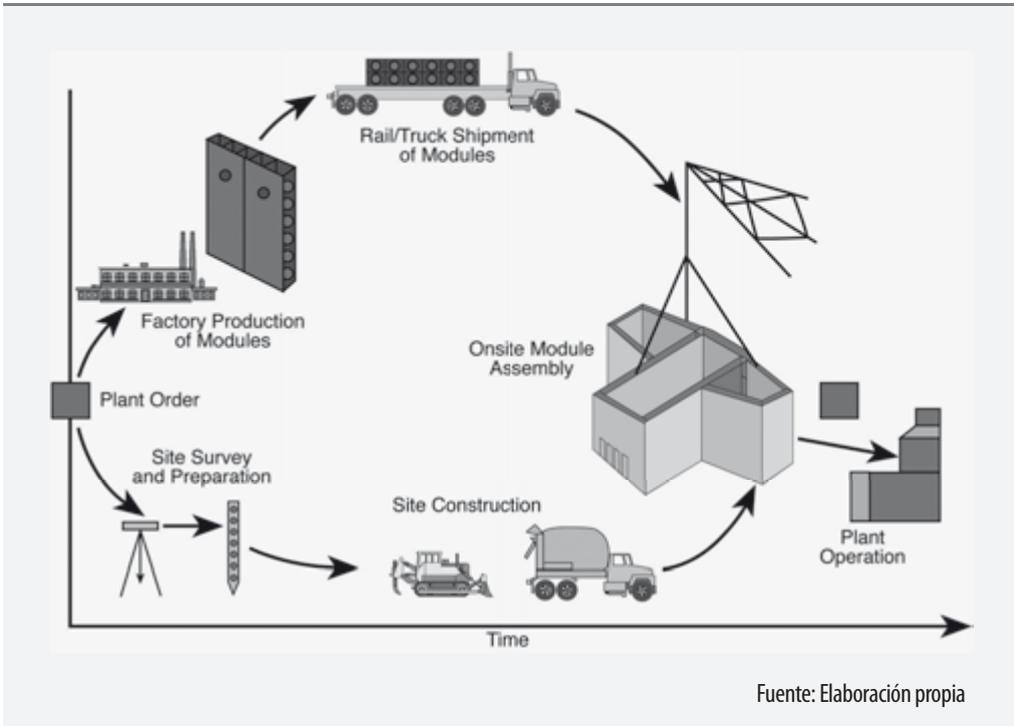
Para una potencia equivalente, la eficiencia de los nuevos reactores es bastante significativa.

## AP1000. Construcción modular

La construcción modular es un concepto traído de Japón, con gran éxito allí. Permite que se inicien distintos trabajos en paralelo. En algunas de las centrales que ya se están construyendo, a la vez que se está haciendo la excavación, se están empezando a construir los módulos en fábricas independientes y separadas, y el ensamblaje y construcción final se producirá en el propio emplazamiento (**Figura 4**).

Esto permite acortar mucho los tiempos y se está viendo en los proyectos actuales, permite también una gestión bastante interesante de las inversiones y de los riesgos.

**[Figura 4] Construcción modular**



Además de esto se incluyen otras construcciones, que llaman *top-down*, de arriba abajo, sin hacer movimientos horizontales. Es una manera de construir que va a permitir tiempos más rápidos. Hay que demostrarlo.

## AP1000. Contratos firmados

Para hablar de realidades: en este momento Westinghouse tiene firmados 5 contratos con fecha de entrega, con plazo y precio. Dos de ellos son para centrales en China y el resto para Estados Unidos. Son en total 10 AP1000, de los cuales ya cuentan con todos los permisos en Estados Unidos, menos un permiso de construcción y operación combinado que está en tramitación en la NRC y que se espera esté concedido en menos de un año.

Son proyectos reales, proyectos cuya construcción está iniciada en dos países como China y Estados Unidos.

Además Toshiba ha firmado contratos reales con NRG para la construcción de 2 ABWR para South Texas, en Estados Unidos.

**[Figura 5] Construcción del primer hormigonado de uno de los reactores de China**

Fuente: Elaboración propia

## Primer AP1000 en China

En la **[Figura 5]** se muestra la construcción del primer hormigonado de uno de los reactores de China. A parte de la belleza de la foto, se ve lo compacto que es el reactor. Se ve la huella del reactor y del edificio auxiliar.

## Países interesados

En este momento hay un gran interés en todo el mundo por la construcción de nuevos reactores tanto en América como en Europa, Asia, etc. Esto demuestra que estamos en un momento de lanzamiento a nivel mundial de todos estos proyectos. Incluso se podrían desbordar las capacidades que en este momento se tienen.

Es cierto que la crisis puede ralentizar el proceso en algunos países, pero en otros lo va a acelerar, como es el caso de China. El Gobierno chino ha tomado la decisión de acelerar todos los proyectos nucleares como una de las maneras de desarrollar tecnológicamente el país y crear un empleo importante y estable allí.

La incorporación de la India va a ser muy rápida y se verá próximamente.

## Claves de los nuevos proyectos

De cara a la construcción de los nuevos reactores, hay una serie de temas de extraordinaria importancia que hay que tener en cuenta para cumplir con los compromisos en coste y plazo.

- La idea de los diseños y proyectos estándares de introducir las menores diferencias posibles a un diseño licenciado aprobado.
- Simplificar el modelo de licencia. En Estados Unidos han hecho un extraordinario trabajo en esa dirección. En Europa debemos tener claro cuál va a ser nuestro modelo de licencia y no repetir errores de otros tiempos. Como la experiencia y la formación de los organismos reguladores europeos son extraordinarios, están preparando un proceso más eficiente para evitar periodos de construcción muy largos.
- Los temas de gestión del proyecto.
- Los planes financieros y de riesgos.
- La idea de la construcción modular.

Y hay que estar seguros de que parte de la capacidad industrial que se ha perdido en el periodo de moratoria, sin construcción de nuevos proyectos, se mantiene sólidamente en España y hay que reconstruirla para responder a los retos, recursos humanos, transferencia del conocimiento... Mucha gente que arrancó los reactores hace 25 ó 30 años se estará ya jubilando y hay que estar seguros de que la transferencia de esos conocimientos y la gestión de proyectos se produce.

No hay que olvidar que la operación segura, fiable, económica y eficiente de los reactores que actualmente están en operación es el fundamento básico para poder construir los nuevos.

## Esquema de un proyecto de nuevas centrales

El esquema de cómo se están construyendo los proyectos en Estados Unidos es un tema con mucha controversia. Hay dos conceptos fundamentales: por un lado, el análisis previo del emplazamiento y, por otro, la aprobación y la consecución de la licencia, con la certificación genérica que hacen los suministradores. Son dos áreas que van en paralelo y que coinciden luego con la presentación de la licencia combinada, la de construcción y operación de los reactores.

Este periodo de preparación de la licencia combinada puede llevar dos años en Estados Unidos. Y luego viene el periodo de licencia de la NRC, que puede ir de 2 a 4 años.

¿Cuál será el periodo en España? ¿Cuál será en otros países europeos? En Estados Unidos se piensa que se podrá ir a dos años o incluso una reducción mayor si mantenemos las ideas de estandarización.

El periodo de construcción y prueba puede llegar a cuatro años desde el primer hormigón hasta la carga del combustible. Sabemos que los proyectos nucleares son largos, podemos movernos en 6, 8 ó 10 años. Los primeros serán más largos que los posteriores.

La utilización de recursos humanos en la construcción de los nuevos reactores AP-1000, en ese periodo de 6 años estándar en personas equivalentes, podemos estar hablando de 2.000 personas para dos AP1000.

## Siguiente generación nuclear

En Westinghouse, como en todas las empresas del sector, se sigue investigando y trabajando en los nuevos reactores. Había unas iniciativas en el mundo sobre los generadores de cuarta generación, el proyecto IMPRO en Viena, NNGP en Estados Unidos... parecía que las empresas tecnológicas no se estaban incorporando a ese proceso. Pero Westinghouse ha tomado la decisión de apostar fuertemente y seguir invirtiendo. Han establecido su propia hoja de ruta con un concepto de reactores medios, con el AP-1000, pero también con la idea de llegar a 1700, pero también hacia reactores de 300 MW con un concepto no tan nuevo pero muy innovador tecnológicamente, el concepto de IRIS, que es un reactor tremendamente simplificado, que permite operaciones de 48 meses y muchas otras cosas.

El PBMR donde Westinghouse participa muy activamente, económica y tecnológicamente. El proyecto actualmente está parado en Sudáfrica, pero en este momento se está retomando la idea hacia conceptos de procesos de calor. Este tipo de reactor es más interesante y tiene una utilización más eficiente: en lugar de generar energía eléctrica para luego generar calor, generan directamente calor para industria pesada, que generalmente lo necesita. Hay una idea tremendamente interesante.

En relación con los reactores rápidos, Toshiba está trabajando en un concepto que se llama 4S, Super, Safe, Small and Simple reactor. Es un reactor rápido refrigerado por sodio, en el que se está trabajando para tenerlo disponible con rapidez. Se esperan 50 MW inicialmente, que evolucionarán.

Y se trabaja con todos los reactores de generación IV para ir a los reactores rápidos. |●|



# CAPÍTULO VII

## Análisis sobre la energía nuclear

### 1. Análisis sobre la energía nuclear

**Autor:** Ana de Palacio

**Institución:** Areva

**Cargo:** Vicepresidenta Areva



# Análisis sobre la energía nuclear

ANA DE PALACIO – AREVA

## Introducción

En estos momentos en España tenemos un debate abierto, por mucho que haya quien diga que hay que abrir el debate, eso ya está hecho. Lo que tenemos que hacer es que los responsables políticos se incorporen al debate; la sociedad sola no puede debatir, pero ha sido ella la que ha lanzado el debate.

Es cierto que la ecuación energética importa a la sociedad española y a nuestros responsables políticos en particular; sabemos que la tenemos que resolver, y que tenemos que hacerlo en el marco de la ecuación energética de la Unión Europea.

Pero la ecuación que realmente importa es la mundial. Los tres grandes retos de la energía hoy son: la seguridad de suministro, la competitividad y el reto del cambio climático. Si vemos esos tres retos y los pensamos en términos globales, nos damos cuenta de que forman parte de lo que podría ser el éxito o el fracaso del proceso de globalización. Para que este proceso sea un éxito y no descarrile, tiene que ser sostenible e incluyente.

## Globalización incluyente

En estos momentos hay mil seiscientos millones de personas en el mundo que no tienen acceso a la electricidad y más de la mitad de la población del planeta recurre a lo que técnicamente llamamos “biomasa”, que en realidad es “quemar lo que pueden”. Y así tenemos que, por ejemplo en la India, según datos del Banco Mundial, el 76-78% de las familias rurales sólo utilizan para la cocina “bosta”, como otro recurso de la biomasa, que genera graves problemas de salud, o madera.

Esta es la “actualidad” que tenemos. Las previsiones de crecimiento de la población se dan fundamentalmente en esas regiones que tienen en estos momentos retos importantes de

suministro eléctrico. Nos centramos en la energía eléctrica porque de entre todas las formas de energía es la que más ligada está al desarrollo. Asimismo, podemos citar al Banco Mundial, cuando afirmamos que la correlación “electrificación-desarrollo” es de las más claras y abrumadoras de las que hay de datos.

En los últimos veinticinco años ha habido doscientos cincuenta millones de personas que han salido de la pobreza abyecta, la que no permite nada, donde no hay posible desarrollo, en India y fundamentalmente en China. China incorpora a la red eléctrica, cada ocho o nueve meses, el equivalente de la capacidad eléctrica española, pero fundamentalmente en electricidad cuyo origen es carbón y un carbón especialmente contaminante.

Mientras algunos se están planteando en España si energía nuclear sí o no, es indudable que todos se alegrarán de que China haya lanzado el ambicioso proyecto que supone sustituir la energía de origen carbón por energía de origen nuclear.

Hará ocho meses, estando en la India con el entonces Ministro de Relaciones Culturales, Rakesh Kumar, decía que a todos nos afecta el cambio climático, pero que ellos tienen prioridades y para ellos el desarrollo era una prioridad, por eso iban a seguir quemando lo que tienen, que es carbón. Y saben que el carbón que tienen es de mucha ceniza, con mucha contaminación de CO<sub>2</sub>, pero lo prioritario para ellos es electrificar la India.

En ese componente de globalización incluyente, la alternativa de que no haya electrificación no es pensable en una globalización con éxito.

## Globalización sostenible

### El cambio climático

De los datos del cambio climático poco podemos hablar. Hace poco publicaban en prensa que por primera vez se había podido circunvalar el Ártico. Son datos preocupantes. Las proyecciones que hay en estos momentos son concluyentes: o atajamos el cambio climático o vamos a problemas más allá del proceso de globalización.

A veces la globalización se nos olvida y nos centramos en el cambio climático. Pero para que la globalización sea un éxito tenemos que tener una energía segura en cuanto a su suministro y razonablemente asequible.

En ese sentido, tenemos que tener en cuenta los datos que existen respecto a las proyecciones de agotamiento de reservas de petróleo o de gas. En estos momentos estamos atravesando una crisis económica, pero a pesar de eso la tendencia al alza de esos recursos está clara, por una mayor demanda, entre otros factores.

La idea de una energía segura y asequible nos debe de importar también como europeos, en particular como españoles, dada la dependencia que en estos momentos tenemos en nuestro mix energético de fuentes de energía importadas.

## Competitividad

Desde un punto de vista europeo y español, no podemos considerar que la globalización sea un éxito si se crean en nuestros países situaciones de desempleo debidos a la deslocalización de la industria. Necesitamos que nuestra industria sea competitiva.

Hablemos de Garoña, una central de Garoña que cumple todos los requisitos y reúne todos los informes favorables para su mantenimiento, ¿qué sentido tiene, dentro de esa idea de competitividad, cerrar una central que no sólo es un activo económico, sino que representa un centro de puestos de trabajo y de suministro de una energía con un precio fijo garantizado que no oscila y para colmo amortizada por completo? Es ese tipo de razonamientos los que cada día nos vamos a hacer más en los países occidentales.

## La ecuación global. Europa

Hemos planteado una primera idea: la ecuación energética que manda es la ecuación global. Esa ecuación global tiene los dos componentes que hemos hablado: globalización incluyente (el desarrollo precisa energía, y sobre todo electricidad; es un correlato) y globalización sostenible (cambio climático, competitividad y garantía de suministro). A partir de ahí, ¿cómo se consigue todo esto? No podemos dejar al margen ningún factor.

La Unión Europea ha apostado por distintos factores que hay que tener en cuenta para poder alcanzar esos objetivos. Uno de ellos, que no se suele mencionar, es una toma de conciencia colectiva de lo que representa la deforestación del planeta. Casi un 20% de las emisiones de CO<sub>2</sub> se deben en estos momentos a la deforestación en países como Brasil o Indonesia, los grandes pulmones del mundo.

A partir de ahí, la Unión Europea es el primer gran conjunto económico que ha tomado conciencia y ha planteado los tres 20-20-20. Es decir, tenemos que apostar por una mayor eficiencia en la utilización de la energía, entre otras cosas mediante una Red Integrada Europea. Y por ejemplo, no puede ser que en la Unión Europea, un reactor licenciado en un país tenga que volver a ser licenciado en otro sin ni siquiera un proceso de licencia simplificado. Y China, sin embargo, tomando como base el ERP ya licenciado en Finlandia, Francia, etc., hizo un procedimiento de licencia simplificado. Para que Europa sea competitiva es importante aunar criterios y procedimientos.

Esto no nos lleva inmediatamente a la construcción por módulos, pero indudablemente, cada observación que una autoridad establece supone una pérdida de competitividad que debe preocuparnos.

Dentro de esa eficiencia, está la necesidad de tener un Mercado Europeo de la Energía. Citando la memoria de Loyola de Palacio como vicepresidenta de la Unión Europea, planteó una visión junto con la Comisión Prodi de lo que tenía que ser un mercado europeo, una Europa de la energía, donde, evidentemente, la energía nuclear juega un papel importante.

Europa apuesta por las renovables. En algún informe de reciente publicación se titula un artículo “el desarrollo de las nucleares impide el desarrollo de las energías renovables”. Todos los expertos saben que la energía nuclear es complementaria de las energías renovables. Sobre todo hoy por hoy, en que uno de los grandes retos que tenemos es el almacenamiento de esas energías renovables. Se habla del hidrógeno como almacenamiento, pero eso todavía no es una realidad.

En resumen, España apuesta por las renovables, en particular por el almacenamiento de la energía renovable, en lo que Europa entera está muy implicada, así como Estados Unidos, y se investigan otros métodos de almacenamiento mejores que las clásicas baterías.

Otro reto en lo que Europa ha hecho un esfuerzo es la captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> en las centrales de carbón, porque carbón hay mucho en el mundo, hay muchos países que tienen carbón, por ejemplo Polonia, que está sobre una mina de carbón, ha tomado la decisión de abrir la vía de lo nuclear porque es muy difícil convencer a determinados interlocutores de que el carbón lo pueden utilizar como se hace actualmente. Para ello la Unión Europea y España invierten en hacer rentable esa captura y almacenamiento del carbono.

Visto todo esto, la realidad es que sin energía nuclear no hay una proyección razonable de llegar a cumplir los objetivos de competitividad, etc., que se mencionaron anteriormente. Se está produciendo una evolución, no sólo en responsables políticos. El Reino Unido ha vuelto a la energía nuclear. En una conferencia en Washington, el Ministro de Energía decía que, aunque él siempre había sido “antinuclear”, en estos momentos, tanto por el avance de la tecnología, como por la certeza de los retos a los que nos enfrentamos, está a favor y apoyando las decisiones del Gobierno de retomar el desarrollo de la energía nuclear.

El informe de 2003 de MIT, que se acaba de revisar hace un mes, dice que, aunque el informe era poco favorable a la energía nuclear, ahora hay que buscar superar los obstáculos que hay contra la energía nuclear porque necesitamos entrar y entrar pronto en el desarrollo de dicha energía para ayudar a afrontar el cambio climático,

es otro cambio de esa evolución de la opinión en todo el mundo; salvo excepciones, que esperamos que pronto vayan entrando en esa corriente general. Evidentemente me refiero a algunas autoridades políticas, que esperamos que, como otros han hecho, entiendan el planteamiento.

*La energía nuclear no es contraria a las energías renovables.* Al contrario, hoy por hoy sólo hay dos energías de base que no emiten CO<sub>2</sub>, que son la nuclear y la hidráulica. El mercado español tiene mucha hidráulica, pero otros países tienen más aun. Pero no es factible el 100% renovables, no sólo con las tecnologías de que disponemos encima de la mesa, sino con las proyecciones tecnológicas más optimistas. Ese modelo de 100% renovables es una utopía. Hoy es “insostenible”, utilizando el contrario de un término frecuentemente usado.

Es decir, ecuación mundial importante; necesidad ligada a la globalización, tanto porque la globalización sea incluyente como porque sea sostenible; esfuerzo que tiene que ir en batería en todos los ámbitos: eficacia, renovables, investigación y desarrollo en cuestiones fundamentales como es la captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>.

Todo eso dicho, la energía nuclear no es la solución, pero hoy no hay solución sin energía nuclear. Discrimino aquí las ecuaciones. A nivel mundial no tenemos solución, a nivel europeo, tampoco, y desde la perspectiva española, necesitamos la energía nuclear. Habrá países con un *hidro* importantísimo, no lo sé, seguro que sí, y podrán decir que con la energía de base que poseen, obvian la energía nuclear. Pero ni Europa ni España pueden hacerlo. Muchas veces me preguntan cuál es el mix ideal. No lo sé, habrá que discutirlo, dependerá de cómo se vayan desarrollando. Lo que no podemos es prescindir hoy de la energía nuclear.

Algo que todos saben pero que es importante resaltar es la necesidad de pedagogía. De ahí la importancia de jornadas como las Jornadas de Energía Nuclear del ICAI: hay características de la energía nuclear que se conocen mal, en las que se barajan todo tipo de datos falsos.

## Falsedades sobre la energía nuclear

En primer lugar, “la energía nuclear no tiene un problema de suministro”. No lo tiene y las proyecciones a largo plazo son favorables a confirmarlo. Todos sabemos que el combustible representa un porcentaje muy pequeño de lo que es el costo de explotación o el costo total de una central nuclear. Y dentro de ese costo, el del uranio todavía menos. Luego aunque supusiésemos una subida brutal del uranio, que no tendría por qué, la repercusión en la factura eléctrica del usuario sería irrelevante. El factor calculado en Areva oscila, pero no supera el 4% de la factura que paga el usuario.

Hay reservas de uranio. En última instancia, está presente en el agua de mar. Es un proceso de extracción caro, pero volvemos a lo que esto representa respecto a la factura de la luz. Las proyecciones de existencia de uranio, sobre todo si recicláramos, son muy buenas. En España, tenemos una cultura americana de no reciclar, pero para un país que en estos momentos consume en sus reactores una mezcla de combustible nuevo y combustible reciclado, el panorama es todavía menos incierto.

En segundo lugar, una cuestión que nos preocupa a todos, “la seguridad”. Tanto desde el punto de vista del *safety* como en el sentido de la *security*. El español no distingue los términos, pero sí en inglés o francés. Una sería la seguridad interna de todo el proceso y otra sería la seguridad externa. Son cuestiones que nos deben preocupar a todos, pero la realidad es que tenemos unos niveles de garantía que tenemos que mantener, y para mantenerlos necesitamos unos marcos institucionales y unos marcos regulatorios, no sólo nacionales, también internacionales. Se publicaba hace unos días que era una insensatez dejar que cualquier país construyera centrales nucleares, por el riesgo de una guerra atómica. Son dos cosas completamente distintas. Pero hay dos verdades que mencionar: la primera es que no se puede considerar que la energía nuclear es sólo para unos pocos elegidos y la segunda es que esto es una responsabilidad de todos. Una responsabilidad de reforzar los mecanismos internacionales de seguridad, en el sentido de *safety* y de *security*, de las operaciones.

Ahora se está revisando el “tratado de no proliferación”, también termina el mandato del director de la Agencia Internacional de la Energía Atómica. El próximo director (tenemos la posibilidad de que sea un español, uno de los mejores candidatos que se presentan) tendrá que plantearse, en este momento del renacer nuclear, que ya no se limita a unos cuantos países sino que es más generalizado, qué papel deberá jugar, cuáles son los medios necesarios para que la Agencia Internacional pueda ejercer esa misión de vigilancia y asegurar a la comunidad internacional que todas las centrales en el mundo, cualquiera que sea su localización, cumplen los requisitos de los estándares de seguridad en los dos sentidos más amplios.

Una vez que se han dicho todas estas cosas (“no hay uranio”, mire usted, sí hay uranio; “esto no es seguro” mire usted, sí es seguro) entramos, como último recurso, en el ámbito de “esto es carísimo”, es una energía que no es competitiva. Pues de nuevo se podría citar Areva, pero por si se dice que yo defiendo esta postura por pertenecer al *lobby* nuclear, se pueden citar los estudios de la OCDE o la revisión del estudio de MIT. En unos u otros, lo que se ve es que la energía nuclear es competitiva, y dependiendo de cómo valoremos las externalidades, aumenta exponencialmente, por las emisiones de CO<sub>2</sub> que ya se han citado. Todo está en internet, pero hay que buscar las fuentes solventes. Todos los estudios serios que se han realizado, desde el MIT hasta la Agencia Internacional, dicen que la energía nuclear sí es competitiva.

A partir de ahí, lo que nos toca es doble. Por una parte, España debe estar preparada tecnológicamente para poder aprovechar estas tecnologías puntas. No son tecnologías fácilmente deslocalizables. España tiene una industria nuclear acreditada y necesitamos no perder este tren. Para eso es fundamental la formación, es fundamental que instituciones como ICAI, en general la Universidad de Comillas y toda la universidad española, tomen conciencia de que esto se está produciendo. Pero eso no se producirá si no hay una “pedagogía de la opinión pública”. Es un reto colectivo de todos los que conocemos lo que es la energía nuclear desde uno u otro punto de vista y necesitamos hacer esta pedagogía.

Son muy reveladoras los datos de las encuestas de Eurostat, según los cuales, España es de los colectivos que tienen un porcentaje más alto del “no sabe – no responde”. También hay que resaltar que España está entre los países en los que porcentualmente se ha evolucionado más a favor de la energía nuclear en los últimos tiempos dentro de la Unión Europea, es verdad que partíamos de una opinión pública muy contraria pero estamos evolucionando en esa dirección.

## Conclusión

El debate está lanzado por la sociedad. Tenemos que conseguir que los poderes públicos se hagan eco de ese debate para que participen en él, y que haya un espacio para informar y debatir. No todas las opiniones tienen que ser iguales. |•|



## BIBLIOGRAFÍA



# Bibliografía

1. Organismo Internacional de Energía Atómica, *Principios fundamentales de seguridad* Número SF-1, OIEA, Viena 2007.
2. Organismo Internacional de Energía Atómica, *Seguridad de las instalaciones nucleares*, Colección Seguridad Número 110-F, OIEA, Viena 1993.
3. Organismo Internacional de Energía Atómica, *Principios para la gestión de desechos radiactivos*, Colección Seguridad Número 111-F, OIEA, Viena 1996.
4. Organismo Internacional de Energía Atómica, *Radiation Protection and the Safety of Radiation Sources*, Colección Seguridad Número 120, OIEA, Viena 1996.
5. Organismo Internacional de Energía Atómica, *Glosario de seguridad del OIEA*, Edición 2007, OIEA, Viena 2007.
6. Consejo de Seguridad Nuclear, *Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes*, Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, BOE N° 178, de 26.
7. *Accelerator Driven Systems for Energy Production and Waste Incineration Abdus Slam International Centre for Theoretical Physics* 2002.
8. *Controlled Release of Thermonuclear Energy. Nature* 1958 (primera publicación donde se anuncia la fusión nuclear).
9. *Trabajar en la industria nuclear*, Adolfo García Rodríguez. Fundación Universidad Empresa, 1987.
10. *Residuos Radiactivos y su Percepción Pública*. Colegio Oficial de Físicos, 1999.

11. *The Nuclear Age*, Stockholm International Peace Research Institute, 1974.
12. *Materiales nucleares*, M. López Rodríguez, F. Pascual Martínez. Publicaciones de la Junta de Energía Nuclear, 1971.
13. *Historia Nuclear de España*. Sociedad Nuclear Española, 1995.
14. *Fast Reactor Technology. A. Path to Long-Term Energy Sustainability-Position Statement*, American Nuclear Society, November 2005.
15. *Nuclear Energy Data 2007*, OECD Nuclear Energy Agency.
16. *Nuclear Engineering International Handbook*, 2007.
17. *Management of Recyclable Fissile and Fertile Materials*, Nuclear Energy Agency NEA N° 6107, April 2007.







Desde la Asociación de Ingenieros del ICAI se lleva trabajando varios años en la publicación de monografías, incluidas en la colección **Avances de Ingeniería**, que contribuyan a diseminar los avances que en diversos terrenos de la Ingeniería se vienen produciendo, ayudando así a la formación permanente de profesionales que de esta manera se mantienen al día en la vanguardia tecnológica.

La Cátedra Rafael Mariño de Nuevas Tecnologías Energéticas de la Universidad Pontificia Comillas tiene la vocación de servir al debate y la reflexión acerca del problema de las fuentes de energía, el abastecimiento energético y su sostenibilidad en el medio y largo plazo, junto con la contribución que a la resolución de estos problemas brindan las Nuevas Tecnologías Energéticas reduciendo las emisiones inherentes a las transformaciones energéticas e incrementando la eficiencia de tales transformaciones, redundando así en un menor consumo de recursos. Así, la creación de una serie de monografías desarrolladas a partir de la Jornada Anual que desarrolla la Cátedra ofrece un material de excepcional importancia para tener una visión del estado del arte de las tecnologías energéticas más relevantes del momento, como punto de partida para el debate y la reflexión.

Este volumen, **Energía nuclear: estado actual y perspectiva inmediata** es el octavo de la serie **Análisis de situación y prospectiva de nuevas tecnologías energéticas** que pretende ser una de las respuestas que tanto desde la Cátedra Rafael Mariño de Nuevas Tecnologías Energéticas como desde la Asociación de Ingenieros del ICAI se plantean a la problemática descrita.

**Editado por:**



Asociación Nacional  
de Ingenieros del ICAI



**Patrocina la Cátedra:**

