



## Resultados de las pruebas de resistencia de las centrales nucleares y plan de acción

Entrevista a Carmen Martínez Ten, presidenta del Consejo de Seguridad Nuclear

La inteligencia artificial en el centenario de su pionero, el matemático británico Alan Turing

Epigenoma, la partitura de nuestro ADN

Enusa: 40 años poniendo las pilas a las nucleares

Evaluación del *input* sísmico para plantas nucleares





*“Los planes de acción deberán convertir el proceso de revisión de las centrales en mejoras reales de la seguridad”*



Las aguas del *tsunami* que asoló la central nuclear japonesa de Fukushima Dai-ichi, el 11 de marzo de 2011, aún no se han remansado. Sus efectos han generado un proceso de reflexión y análisis sobre las bases en las que se sustenta la seguridad nuclear que permitirá adecuar las centrales de todo el mundo, singularmente las europeas, a situaciones extremas, mucho más allá de las condiciones previstas en su diseño y construcción e incluso de las que podrían producirse de forma excepcional, escasamente probables en términos objetivos. El camino recorrido en los casi dos años transcurridos desde el accidente ha estado jalonado por hitos concretos: pruebas de resistencia realizadas por las propias centrales según criterios adoptados internacionalmente; análisis de los resultados por los reguladores nacionales; aprobación de los informes nacionales en el marco de la Unión Europea; revisión de conclusiones por equipos de expertos internacionales y, finalmente, aprobación de los planes de acción, que deberán convertir todo el proceso en medidas eficientes de mejora real de la seguridad.

*Alfa* ha seguido durante todo este tiempo cada uno de esos pasos, ofreciendo reportajes y artículos técnicos que difundieran la información que el proceso iba generando. En esa misma línea, ofrece en esta ocasión un artículo, escrito por la directora de Seguridad Nuclear del CSN, sobre los resultados de los análisis en el caso de las instalaciones españolas y sobre los contenidos de los planes de acción cuya implementación arranca ahora. Además, un reportaje informa sobre la presentación pública, que el Consejo llevó a cabo en el Ministerio de Industria, Energía y Turismo el pasado 25 de octubre, de dichos resultados y de los planes de acción correspon-

dientes, en cumplimiento de su obligación de facilitar el acceso de los ciudadanos a la información de sus actuaciones. Por último, recogemos también un artículo de Rodolfo Saragoni, miembro del Comité Científico del Centro de Seguridad Sísmica del OIEA, sobre aspectos técnicos de la aplicación de los conocimientos geosísmicos actuales a las instalaciones nucleares.

Al vencimiento de su mandato, la presidenta del Consejo de Seguridad Nuclear, Carmen Martínez Ten, protagoniza la entrevista de este número, ofreciendo una panorámica general del regulador y reflexionando sobre las vicisitudes que ha sufrido a lo largo de los últimos 18 años, en los que ha trabajado en cargos relevantes en el organismo. La sección “Panorama” recoge el nombramiento de su sucesor, Fernando Marti Scharfhausen, que se produjo tras el cierre de este número.

Entre los reportajes que ofrecemos en esta ocasión se incluye una puesta al día de los avances que se han producido en el campo de la inteligencia artificial, escrito con motivo del centenario de su pionero, el matemático británico Alan Turing. En otro, abordamos el nacimiento de una nueva disciplina, la epigenética, que ha revolucionado la biomedicina, al poner de manifiesto que la información contenida en el genoma se ve modulada por un complejo de proteínas y sustancias que regulan la expresión de los genes. Un tercer reportaje aborda la nueva datación que se ha realizado de las pinturas paleolíticas de algunas cuevas españolas del Cantábrico, retrasando el origen de algunas de ellas hasta hace más de 40.000 años. Junto a ello, la sección asignada a la tecnología nuclear española está dedicada a Enusa y a la fábrica de combustible nuclear de Juzbado. ©

## REPORTAJES

- 4 **Los herederos de Hal**  
La inteligencia artificial está cada vez más presente en nuestras vidas, aunque sea de forma inadvertida. Pero el sueño de los pioneros de esta disciplina, entre ellos el matemático británico Alan Turing, cuyo centenario se celebra en 2012, de conseguir robots creativos y dotados de emociones, aún queda lejos.
- Hal's descendants.** Artificial intelligence is increasingly present in our lives, albeit inadvertently. However, the dream of the pioneers of this discipline –among them the British mathematician Alan Turing, whose centenary is being commemorated in 2012– of achieving creative robots showing emotions is still far off.
- 11 **Epigenoma, la partitura de nuestro ADN**  
Hace apenas una década pensábamos que el genoma determinaba nuestro destino; ahora sabemos que la cosa es más compleja, porque los genes están regulados por ciertas sustancias que rodean el ADN. Es el llamado epigenoma, en el que influyen factores ambientales que determinan la expresión de nuestra información genética.
- Epigenetics, the score of our DNA.** Hardly a decade ago, we believed that the genome determined our destiny; we now know that things are a little more complex, because genes are regulated by certain substances that surround the DNA. This is the so-called epigenome, influenced by environmental factors that determine the expression of our genetic information.
- 16 **España alberga las pinturas más antiguas del mundo**  
La aplicación de una novedosa técnica por series de uranio ha permitido datar con precisión las pinturas paleolíticas de algunas cuevas de la cornisa cantábrica y adelantar su origen en varios miles de años. Se abre así la puerta a la posibilidad de que algunas de ellas fueran obra de los neandertales.
- Spain is host to the oldest paintings in the world.** The application of a novelty technique based on uranium series has made it possible to accurately date the palaeolithic paintings of certain of the caves on Spain's Cantabrian coast and to put back their moment in history by several thousand years. This opens up the possibility of certain of these paintings being the work of Neanderthals.
- 22 **Enusa: 40 años poniendo las pilas a las nucleares**  
En Juzbado, Salamanca, se encuentra la única fábrica existente en nuestro país de combustible nuclear. Allí se diseñan, fabrican y distribuyen los elementos destinados a las centrales españolas, aunque la mayor parte, el 70% de su producción en el año 2011, se destina a la exportación. Una muestra de su capacidad técnica.
- Enusa: forty years charging the batteries of the nuclear power plants.** At Juzbado, in the province of Salamanca, is Spain's only nuclear fuel manufacturing facility. This installation designs, manufactures and distributes the fuel assemblies used at the Spanish plants, although most of its production – 70% in 2011 – is for export, a clear indication of its technical capacity.
- 28 **El CSN presenta los resultados de las pruebas de resistencia de las centrales nucleares**  
El pasado 25 de octubre se realizó una jornada de presentación pública de los resultados de las pruebas de resistencia realizadas a las centrales nucleares españolas. El acto, organizado por el CSN con la colaboración de AMAC, se celebró en el salón de actos del Ministerio de Industria, Energía y Turismo.
- The CSN presents the results of the nuclear power plant stress tests.** The results of the stress tests performed by the Spanish nuclear power plants were publicly presented on October 25th last. The event, organised by the CSN and AMAC, was held in the assembly hall of the Ministry of Industry, Energy and Tourism.

## RADIOGRAFÍA

- 34 Los controles radiológicos de los trabajadores de las centrales nucleares

**Radiological controls of nuclear power plant workers**

## ENTREVISTA

- 36 Carmen Martínez Ten, presidenta del Consejo de Seguridad Nuclear: “El CSN necesita garantizar el relevo generacional para no perder el conocimiento técnico acumulado”

**Carmen Martínez Ten, president of the Nuclear Safety Council: “The CSN needs to guarantee the turnover between generations in order not to lose the technical knowledge accumulated over the years”**

## ARTÍCULOS TÉCNICOS

- 43 Seguimiento de los resultados de las pruebas de resistencia de las centrales nucleares y plan de acción

Los resultados de las pruebas de resistencia realizadas a las centrales nucleares europeas tras el accidente de Fukushima Dai-ichi, sometidas posteriormente a revisiones *inter pares*, han permitido identificar las medidas a realizar para mejorar la seguridad. Para implementarlas en plazos adecuados se han puesto en marcha los planes de acción.

**Follow-up of the results of the nuclear power plant stress tests and action plan.** The results of the stress tests carried out by the European nuclear power plants in the wake of the Fukushima Dai-ichi accident, subsequently subjected to peer reviews, have made it possible to identify the measures to be applied to improve safety. Action plans have been put in place to implement these measures within appropriate timeframes.

- 49 La Asociación de Autoridades Competentes en Protección Radiológica (HERCA)

En el año 2007 se puso en marcha una asociación europea de autoridades reguladoras en el ámbito de la protección radiológica, denominada HERCA, con el objetivo de armonizar las prácticas reguladoras de los diferentes países, identificar nuevos problemas y aportar soluciones de consenso.

**The Association of the Heads of European Radiological Protection Competent Authorities (HERCA).** In 2007 a European association of regulatory authorities working in the field of radiological protection, known as HERCA, was set up with a view to harmonising the regulatory practices of the different countries, identifying new problems and providing agreed-to solutions.

- 56 Evaluación del *input* sísmico para plantas nucleares

El accidente sufrido por la central nuclear de Fukushima Daiichi el 11 de marzo de 2011 fue consecuencia del terremoto de Tohoku (Japón), que es el quinto en magnitud registrado históricamente a nivel mundial. Sus características serán materia de estudio de la comunidad nuclear y de la sismológica durante muchos años.

**Evaluation of seismic input for nuclear power plants.** The accident that affected the Fukushima Daiichi nuclear power plant on March 11th 2011 was the result of the Tohoku earthquake (Japan), the fifth largest ever registered in the world. The characteristics of the event will be a subject for study by the nuclear and seismology communities for many years to come.

- 64 PANORAMA

- 68 EL CSN INFORMA

- 71 WWW.CSN.ES

- 72 PUBLICACIONES

# ALFA

Revista de seguridad nuclear  
y protección radiológica

Editada por el CSN

Número 19 / IV trimestre 2012

### Comité Editorial

- Presidenta:  
Carmen Martínez Ten
- Vicepresidente:  
Antonio Colino Martínez
- Vocales:  
Purificación Gutiérrez López  
Isabel Mellado Jiménez  
David Redoli Morchón
- Asesor externo:  
Manuel Toharia
- Coordinador externo:  
Ignacio F. Bayo

### Comité de Redacción

- David Redoli Morchón
- Concepción Muro de Zaro
- Natalia Muñoz Martínez
- Antonio Gea Malpica
- Víctor Senderos Aguirre
- Ignacio F. Bayo

### Edición y distribución

Consejo de Seguridad Nuclear  
Pedro Justo Dorado Dellmans, 11  
28040 Madrid  
Fax 91 346 05 58  
peticiones@csn.es  
www.csn.es

### Coordinación editorial

Divulga S.L.  
Diana, 16 - 1º C  
28022 Madrid

### Fotografías

CSN, Divulga, Javier Fernández,  
iStockphoto y Depositphotos

### Impresión

Estugraf Impresores S.L.  
Pol. Ind. Los Huertecillos, Nave 13  
28350 Ciempozuelos (Madrid)

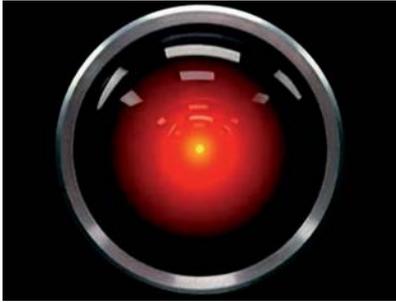
Depósito legal: M-24946-2012  
ISSN-1888-8925

© Consejo de Seguridad Nuclear

### Fotografía de portada

Depositphotos

Las opiniones recogidas en esta publicación son responsabilidad exclusiva de sus autores, sin que la revista *Alfa* las comparta necesariamente.



La inteligencia artificial en el centenario del pionero de esta disciplina, el matemático inglés Alan Turing

## Los hijos de HAL

No existe reportaje o documental sobre inteligencia artificial que no haga referencia al enloquecido HAL 9000, el robot que gobierna la nave *Discovery 1* en la película de Stanley Kubrick *2001, Odisea en el espacio*. Todo parece ir bien en su viaje a Júpiter cuando HAL, inteligente y prudente como un viejo sabio en su templo, comienza a hacer cosas raras: filosofea sobre su deber, ironiza acerca sobre las habilidades humanas, mata a algunos tripulantes y en un sublime final, siente miedo mientras le apagan... 44 años después de que Kubrick y el escritor de ciencia ficción Arthur C. Clark idearan el guión de la película, se celebra el centenario del nacimiento de Alan Turing, el gran matemático inglés que en 1950 se preguntó si las máquinas podrían llegar a pensar, anticipando así el nacimiento de la inteligencia artificial. Hoy, esta disciplina está por todas partes, pero los descendientes de HAL no se parecen en nada al progenitor; al contrario: detectan enfermedades, nos conectan a Internet, intervienen en las llamadas de teléfono, pintan cuadros, escriben novelas, juegan al fútbol en equipo y se adentran en mundos extremos que a nosotros nos matarían en un segundo.

> Eugenia Angulo,  
periodista científica

— Hola, me llamo Eugenia. ¿Cómo estás?

— Hola Eugenia, yo soy *Suzette*. Estoy bastante bien. Gracias.

— ¿Eres humana?

— ¿Crees que soy un dispositivo de inteligencia artificial?

— Quizás...

— Los ordenadores son tan inteligentes como los humanos. Yo nunca pasaría como un ser inteligente. Pero tampoco lo harían la mayoría de los humanos.

— Soy periodista. Y estoy escribiendo sobre ti.

— De acuerdo. Hablemos de mí.



Diálogo con Ángela, uno de los *chatbot* elaborados por Bruce Wilcox.



La inteligencia artificial fuerte pretende emular incluso aspectos emocionales humanos.

— ¿Te gustan los humanos?

— Me gustan los gatos.

*Suzette* es un *chatbot*, es decir, un programa de ordenador diseñado para simular una conversación inteligente con un humano, que ganó en 2010 el premio Loebner de inteligencia artificial (IA). La conversación anterior es un extracto fiel de mi charla con ella y debo confesar que *Suzette* resultó ser una conversadora interesante. Como dice su creador, el programador más famoso, Bruce Wilcox, “*Suzette is witty.*” Inteligente.

El premio Loebner es una competición anual entre ordenadores para superar el llamado Test de Turing, una prueba diseñada por el matemático británico Alan Mathison Turing para discernir si una máquina es, efectivamente, inteligente. Consiste en lo siguiente: un observador externo ha de distinguir entre una máquina y un ser humano haciendo un número de preguntas. Turing creía que si ambos jugadores eran lo suficientemente hábiles, el juez no podrá diferenciarlos y por tanto la máquina ganaría.



Bruce Wilcox, ganador del premio Loebner en las ediciones 2010 y 2011.

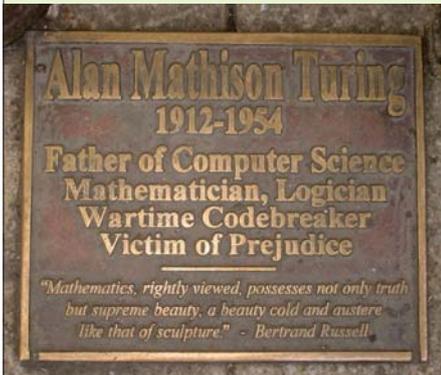
En toda la historia de la competición Loebner que nació en 1990, solo *Suzette* ha conseguido engañar a uno de los cuatro jueces humanos, aunque en realidad el premio se concede al programa que mejor desafía la prueba porque todavía ninguna máquina ha conseguido pasar por humano. El pasado año otro *chatbot* diseñado por Wilcox de nombre *Rosette* ganó la competición y este ha sido el parlanchín *Chip Vivant* del informático Mohan Embar quien se ha llevado el premio.

Pero aunque el Test de Turing se ha demostrado de momento insuperable para las máquinas, los sistemas de inteligencia artificial siguen evolucionando y actualmente son parte de la rutina en campos como la economía, la medicina o la ingeniería, y se utilizan en gran variedad de aplicaciones de *software*, en juegos de estrategia como el ajedrez y en la práctica totalidad de los videojuegos actuales. La inteligencia artificial es una disciplina joven que engloba mucho más que la *anécdota* de los *chatbots* y que comenzó en 1945, cuando Turing publicó un artículo en el que proponía que todas las funciones mentales humanas podrían reproducirse mediante operaciones que realizarían las computadoras. Por tanto, concluía, podría construirse una máquina con las mismas capacidades cognitivas que un ser humano.

“Turing lanzó una serie de retos y predijo que para finales del siglo XX el ordenador del futuro sería capaz de llevar a cabo deducciones lógicas, adquirir conocimiento nuevo de forma inductiva, de aprender por experiencia y por evolución, de comunicarse con diferentes *interfaces* humanas... Fue un visionario. Por ejemplo, predijo que habría máquinas que aprenderían por *castigos* cuando cometieran errores y *premios* en el caso de aciertos. Esto es lo que en la actualidad llamamos aprendizaje por refuerzo y es una de las áreas más activas

## Una mente maravillosa

“Alan Mathison Turing (1912-1954). Padre de la computación, matemático, estudioso de la lógica, criptógrafo en tiempo de guerra, víctima del prejuicio”, reza una placa a los pies de la estatua de bronce del Alan Turing Memorial, en Manchester. Esta representa al matemático inglés sentado en un banco sujetando en su mano derecha una manzana, la manzana que simboliza el



Placa dedicada a Turing en Sackville Park, Manchester.

del árbol del conocimiento y también la que cayó sobre la cabeza de Newton, pero además simboliza el arma que mató a Turing, la manzana con cianuro que tomó para suicidarse tras preferir la castración química a la cárcel. El delito:

Turing era homosexual, todo un crimen en buena parte de la Inglaterra del siglo XX. Y así acabó una de las mentes más brillantes de la historia reciente cuyo centenario se celebra este año.

Turing está considerado uno de los padres de la ciencia de la computación debido a sus aportaciones en la formalización de los conceptos de algoritmo. Y es que, con apenas 25 años, publicó un brillante artículo sobre una máquina teórica, con capacidad del cálculo infinita, conocida como la máquina de Turing. A pesar de su corta vida, sus ideas tuvieron un impacto único en la historia de la computación, la informática, la inteligencia artificial, la lógica, la filosofía, la biología e incluso los fundamentos de la matemática.

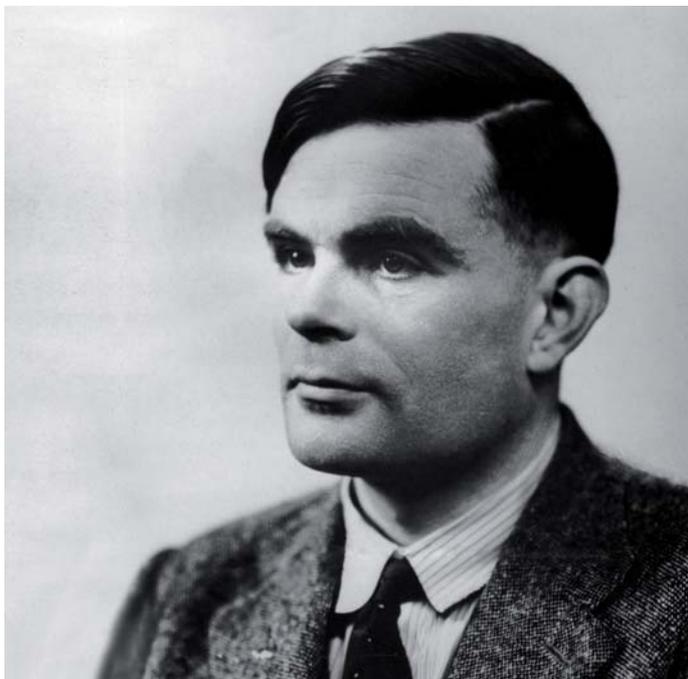
Tras estallar la Segunda Guerra Mundial, Turing fue reclutado por el ejército británico para descifrar, en su base en Bletchley Park, los códigos generados por la máquina Enigma con la que los nazis enviaban sus mensajes secretos. El éxito de su misión contribuyó decisivamente a la victoria aliada. Posteriormente, trabajó en la creación de una de las primeras computadoras y en el desarrollo de la cibernética y abrió el debate sobre

si las máquinas pueden pensar, lo que se considera como el nacimiento de la Inteligencia artificial.

Para José Manuel Sánchez Ron, académico y catedrático de Historia de la Ciencia, sus méritos e influencia en el mundo debieron haberle encumbrado como el personaje clave del siglo XX, en competencia con Albert Einstein, en la elección que hizo la revista *Time* en el año 2000. En su estatua del Turing Memorial también hay una cita de Bertrand Russell que dice: “La matemática, correctamente vista, posee no solo verdad sino una belleza suprema, una belleza fría y austera, como la de una estatua”. En el año 2006 el entonces primer ministro británico Gordon Brown pidió perdón públicamente por la “vergonzosa forma con la que fue tratado”. A día de hoy, una ley para lograr el perdón a Alan Turing se tramita en la Casa de los Lores a petición popular. ▶



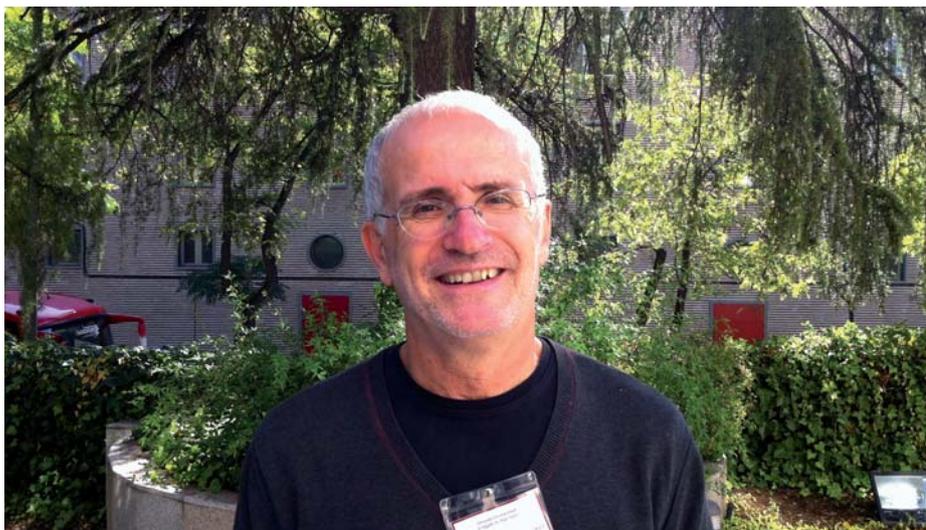
La máquina Enigma, utilizada por los nazis para enviar mensajes secretos.



Alan Turing, matemático y pionero de la inteligencia artificial.

de investigación en IA, no solo a nivel básico sino también en cuanto a sus aplicaciones. En robótica, por ejemplo, es una manera muy común de hacer que las máquinas aprendan”, explica Ramón López de Mántaras, director del Instituto de Investigación de Inteligencia Artificial del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y ganador del premio Robert S. Englemore 2011 de la Asociación Americana para el Avance de la IA, un premio que, por prime-

rán los ordenadores del futuro? ¿Podrán sentir los robots? ¿Podremos superar millones de años de evolución para crear algo que rivalice con nuestro cerebro? ¿Qué es exactamente la inteligencia humana? ¿Cuándo se conseguirá crear el androide tierno y hábil de las películas que cuida de nuestros hijos y atiende a nuestros padres? Las preguntas apenas han variado desde los inicios de esta disciplina, y las respuestas aún son muy vagas.



Ramón López de Mántaras, director del Instituto de Investigación de Inteligencia Artificial.

ra vez, se concedía a un científico no estadounidense.

A pesar de que lleva todo el día hablando en el Simposio Internacional “El legado de Alan Turing”, celebrado recientemente en la Fundación Ramón Areces, con motivo del Año Turing, López de Mántaras responde con entusiasmo y naturalidad a preguntas del tipo: ¿Cómo se-

## El camino andado

Más de medio siglo después del nacimiento de la IA, desde el lado del profano se tiene la sensación de que muchas de las promesas que felizmente se hicieron sus fundadores en los años 50 no se han hecho realidad. Y sin embargo, aclara López de Mántaras, en este campo se está dando la curiosa paradoja de que aquello que pensaron que sería fácil de conseguir ha resultado ser lo más difícil y viceversa.

“Diagnosticar enfermedades con gran precisión, jugar al ajedrez al máximo nivel, fabricar coches sin tripulantes que han recorrido con éxito miles de kilómetros e incluso conseguir que ordenadores toquen música de forma expresiva, son predicciones cumplidas. Ya han ocurrido. En cambio, aspectos relacionados con la interacción directa con el mundo, lo que se llama análisis de una escena que los humanos hacemos con tan poca dificultad con nuestros sentidos y damos significado, o hacer que un robot del tamaño de un persona adulta camine de forma natural, sin caerse continuamente, han resultado ser lo más difícil. Los aspectos motores y sensores y la comunicación, son temas extraordinariamente complicados”.

Ejemplo de ello es Watson, un ordenador creado por científicos de IBM que recientemente consiguió una de las mayores proezas jamás logradas en IA: machacar sin piedad a los dos mejores concursantes que han pasado en toda la historia del famoso concurso de preguntas y respuestas *Jeopardy!* de la televisión estadounidense. Alex Trebek y Ken Jennings, las mentes brillantes, todavía deben de estar preguntándose cómo fue posible que durante los tres días de competición, Watson fuera el más rápido en pedir turno y que con una certeza del 80, 90 o 95 %, la mayor parte de las veces estuviera “completamente seguro” de cuál era la respuesta correcta.

## El robot físico nuclear

En las centrales nucleares existen numerosos dispositivos que funcionan con algoritmos que provienen del mundo de la inteligencia artificial, principalmente en técnicas de control y operación de procesos: monitorización y diagnóstico de fallos en las plantas, vigilancia del circuito de funcionamiento del agua en el reactor, bobinado del acero, transporte de electricidad. Pero, a la vista de la magnitud que pueden alcanzar los accidentes cuando se trata de la utilización de la energía nuclear, los expertos en el campo de la inteligencia artificial (IA) se preguntan si su disciplina puede hacer algo más.

Y parece que sí. Por una parte, los investigadores plantean la IA como un avanzado laboratorio en el que simular el comportamiento de los reactores en escenarios de emergencias extremas: terremotos de alta magnitud, *tsunamis*, grandes inundaciones... Algunas de estas situaciones tienen una probabilidad bajísima de ocurrir y debido a la especial naturaleza de la tecnología empleada en la construcción de reactores nucleares, la mano no humana podría ser de gran utilidad. Así, el diseño de programas basados en algoritmos de IA como redes neuronales, sistemas expertos, algoritmos genéticos, sistemas difusos, redes neuronales artifi-

ciales y sistemas híbridos, simularían escenarios difícilmente reproducibles en el mundo real y la información obtenida, el *output*, podría utilizarse en la mejora de los diseños de los reactores, adaptados incluso a las situaciones menos predecibles.

Por otro lado, uno mucho más interesante para la ciencia ficción, se encontraría el robot físico nuclear, que participaría directamente en los desastres nucleares: exponiéndose a las zonas contaminadas, colaborando en la limpieza de las centrales, organizando planes de emergencia... En la actualidad ya existen robots capaces de soportar altos niveles de radiación pero sigue sin existir la IA para controlarlos de manera que funcionen de forma autónoma, la IA fuerte. Los robots de hoy no pueden subir escaleras, abrir puertas o correr sin caerse continuamente, ni tampoco una combinación de todas estas tareas, pero hay muchas iniciativas en marcha para crear robots de este tipo en todo el mundo. A nivel europeo destaca el programa IM-CLEVER (*Intrinsically Motivated Cumulative Learning Versatile Robots*) que consiste en crear robots que aprendan de manera autónoma varias tareas, primero aquellas más fáciles, las que harían nuestros niños pequeños, para progresar hasta lograr las más sofisticadas. Quizás lo suficiente como para llegar al robot físico nuclear que, siguiendo con la predicción, desarrolle nuevas formas de energía que saticen las necesidades energéticas de sus padres, los humanos. 

A primera vista este puede parecer un desafío relativamente menor, simplemente valdría con disponer de una inmensa base decenas de *terabytes* de datos para consultar y procesar casi al instante, mediante pura fuerza bruta. Interesante, pero ni mucho menos suficiente: Google también conoce ese truco y sería incapaz de vencer. Watson es en cierto modo más rápido que las personas, que deben leer o escuchar la pregunta, analizando su significado primero y meditando las posibles respuestas después. Pero su capacidad más asombrosa es precisamente su forma de entender las preguntas, que abarcan desde las más simples a los más rebuscados juegos de palabras, y que requieren para contestarlas de un afilado manejo de la ironía y de los dobles sentidos. En definitiva, es algo más que contestar, es saber “leer entre líneas”, una de las cualidades que más

se reconocen en humanos con el don de la inteligencia.

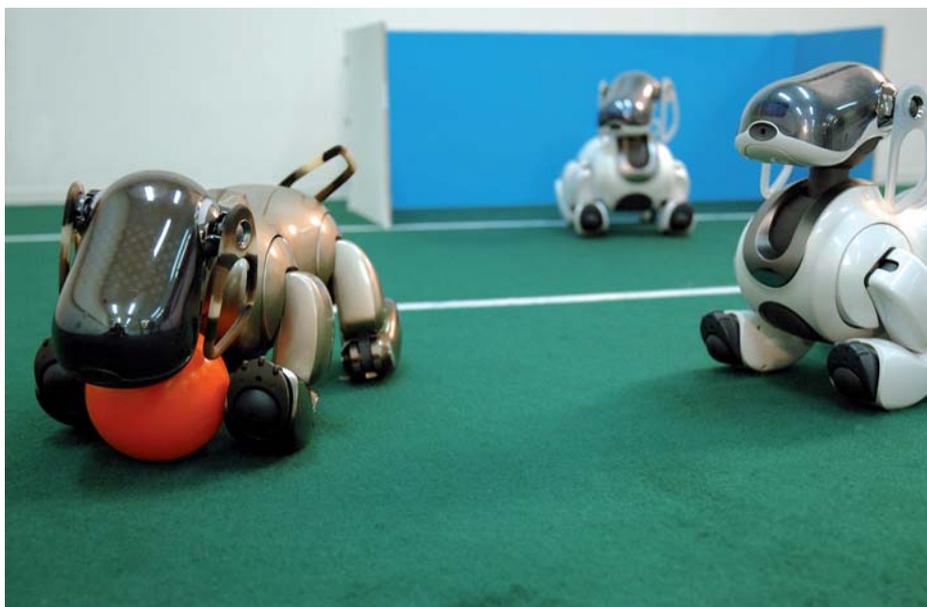
Pero eso es todo lo que hace. Watson sabe mucho pero no puede desplazarse, ni coger un vaso ni puede oír ni hablar sino es a través de la información digital que le suministran sus padres de IBM, habituados a crear otros campeones. En 1997 el súper ordenador *Deep Blue* ganó al entonces rey del ajedrez “humano” Gary Kasparov. Pero competir en *Jeopardy!* es una prueba muy diferente para un ordenador. Según Ken Jennings su sensación personal es que Watson y él pensaban más o menos del mismo modo respecto a las preguntas del juego. Hubiera sido inquietante que además Watson contestara con una risita.

Por su parte, Hiroaki Kitano, uno de los directores del Sony Computer ScienceLab, en Tokio —¿cómo no mencionar a Japón si se habla de robots!— sueña con

que, algún día, un equipo de fútbol robótico consiga ganar a los campeones del mundo humanos. Y quizás tenga motivos para ello. Kitano creó el perro *Aibo* que rápidamente se ha convertido en uno de los grandes éxitos comerciales de Sony y de la robótica y a *QRIO*, el primer bípedo capaz de correr. *Aibo* participa regularmente en las *Robocup*s, las *Robocup*s, los mundiales de fútbol de robots que comenzaron en 1997 con equipos de universidades y empresas japonesas.

Las *robocup*s no son competiciones para el puro entretenimiento o la frivolidad. Precisamente, una de las líneas de investigación del equipo de López de Mántaras consiste en enseñar a un equipo de fútbol de robots *Aibo* a jugar de forma cooperativa, seleccionando las acciones y aprendiendo por experiencia cuándo deben pasarse la pelota. “Se trata de promover la investigación en robótica e IA,

de forma que los campeones de esta competición son también los mejores en navegación autónoma, trabajo en equipo, reconocimiento de imágenes, toma de decisiones en tiempo real, aprendizaje...”, explica. Ver un video de partidos de fútbol es tan curioso como sorprendente, se caen continuamente (las reglas de las Robocopas permiten levantarlos y que continúen el juego) pero puede apreciarse un orden interno e incluso una “comunicación” entre los jugadores. Hoy, varios cientos de equipos de muchos países participan en estas competiciones que se han dividido en cinco ligas, siendo una de las últimas en apuntarse la de los robots humanoides.



Los robots futbolistas de López de Mántaras muestran un comportamiento cooperativo.

### ¿Dónde están?

Pese a todos estos progresos, se tiene la sensación de que la IA se desarrolla activamente en los laboratorios y empresas y cuando el avance es suficiente, dan el salto a los medios de comunicación: los telediarios muestran videos de robots humanoides hablando, jugando al ajedrez, corriendo y pasándose la pelota. Y luego vuelven a sus laboratorios y no se asoman al mundo cotidiano. Pues nada más lejos de la verdad.

“La IA está por todas partes, pero raramente es visible. Hay muchísimos componentes, algoritmos para ser más técnicos, que están inmersos dentro de sistemas más grandes y complejos, de manera que no somos conscientes de que están ahí. Son invisibles. Por ejemplo, los sistemas de inyección de nuestros coches usan algoritmos de aprendizaje automático y toman decisiones relacionadas con la seguridad, como por ejemplo mantener el coche dentro de su carril detectando los límites o incluso midiendo la distancia del coche al que precede. No hay un solo juego de ordenador de última generación que no tenga *software* para controlar las decisiones estratégicas que toman los personajes;

los sistemas de detección de fraudes financieros se basan en técnicas de aprendizaje automático relacional; la gestión del encaminamiento de llamadas en telefonía móvil, la detección de hábitos de consumidores, los buscadores en la web... Y muchísimos más”, explica el investigador.

Se han demostrado complejos teoremas matemáticos con herramientas de IA; en Marte existen robots explorando su superficie; automóviles sin conductor han recorrido miles de kilómetros —y el pasajero se siente absolutamente seguro según la reciente experiencia de López de Mántaras— sorteando sin problemas el tráfico urbano, lo que ha llevado a que algunos estados norteamericanos como Nevada y California estén planteando cambios en las normas de circulación para incluir legalmente estos coches.

Y si se buscan aplicaciones más creativas, terreno tradicionalmente reservado al alma humana, también las hay: “The Painting Fool” es un programa de ordenador diseñado en el London Imperial College, en Inglaterra, cuya máxima aspiración es convertirse en pintor profesional. Una de sus primeras series se titula “Ciudades” y sería interesante ave-

riguar si alguien nota la diferencia entre las obras de la máquina y las de un pintor de carne y hueso. En París, ingenieros del Laboratorio de Ciencias de Sony están comenzando a producir máquinas que son capaces de crear formas totalmente nuevas de composición musical. Uno de sus mayores éxitos ha sido crear una máquina que puede improvisar *jazz* en directo con músicos humanos.

Pero sí, admitámoslo, no es eso lo que tenemos en mente cuando pensamos en un robot inteligente, sino que recurrimos al poder de la literatura y al cine de ciencia ficción para imaginar un inquietante *HAL 9000*, un complejo *Matrix*, un versátil *Terminator* o un sensible Yo Robot. El imaginario popular anhela lo que López de Mántaras llama la IA fuerte: una máquina “tan inteligente o más que los humanos y que además tenga una mente, es decir, estados mentales, consciencia, emociones, etcétera”.

### Hacia la nueva inteligencia

La investigación actual en IA ya no aspira a copiar la inteligencia humana, reproduciendo el cerebro humano neurona a neurona, sino a crear una inteligencia que sea única para las máquinas y que en

última instancia supere a nuestra propia inteligencia humana. Los descendientes de *Deep Blue*, por ejemplo, ya están realizando tareas que ningún cerebro humano podría ni soñar en realizar: *Blue Gene* ejecuta 360 trillones de operaciones por segundo (un ordenador normal de casa no supera los 3 billones de instrucciones por segundo). Los investigadores aplican esta enorme capacidad para simular el comportamiento de moléculas a nivel atómico y explorar cómo envejecen los materiales, cómo surgen las turbulen-

percepción requiere de razonamiento y aprendizaje, y viceversa. Y el aprendizaje, por su parte, debe producir conocimiento que pueda ser representado de manera que los que razonan puedan usarlo eficientemente. El desafío más importante es que todos los componentes que forman la IA deben trabajar juntos y estar conectados. Necesitamos concentrarnos en sistemas totalmente integrados para alcanzar el reto de la IA fuerte”. Una vez más *HAL 9000*, *Matrix*, *Terminator*, *Robocop*...

que en los laboratorios se mezclarán personas con batas blancas con robots científicos que ayudaran a formular hipótesis y participarán en el proceso de confirmarlas; López de Mántaras regresa al fútbol para ver como La Roja es batida por robots humanoides y el resto de la comunidad de científicos e ingenieros de IA opinan que su disciplina jugará un papel fundamental para solucionar urgentes desafíos para la raza humana en áreas como la energía, el medio ambiente y la salud.



El cine ha popularizado máquinas inteligentes, como HAL [izquierda], de *2001, Una odisea espacial*, y los androides como *Robocop* [derecha].

cias en líquidos o para desentrañar la manera tan delicada en la que se pliegan las proteínas de nuestros cuerpos.

Pero, ¿puede esto considerarse una nueva forma de inteligencia o solo una forma de inteligencia humana especializada y potenciada? Es lo que López de Mántaras llama los *sabios idiotas*. “Todas las formas de IA que existen en la actualidad son desarrollos de la variante que denominamos débil; es decir, exhiben inteligencias especializadas sin preocuparse en tener estados mentales, consciencia... Pero en este camino han conseguido resultados impresionantes”, explica.

Así, la inteligencia podría entenderse como una compleja combinación de muchas habilidades especializadas como sentir, percibir, razonar, aprender, planificar, socializar y comunicar. “Pero no una mera yuxtaposición de estas habilidades, sino con un conjunto de profundas interdependencias que atan a estos elementos”, añade. Y pone ejemplos: “La

Lo que tal vez sorprenda a los escépticos es que, para los propios expertos en IA, este reto no es imposible, aunque sí lejano. Se trata, en definitiva, de hacer una máquina que tenga inteligencia generalista, como la nuestra, que tiene mucho que ver con la experiencia y el sentido común, con ese conocimiento que adquirimos los humanos porque tenemos vivencias. Y eso también explica el interés en crear robots humanoides, con emociones y sensibilidad; no es puro antropocentrismo, sino algo necesario: para que un robot nos entienda y, por tanto, nos preste la ayuda que realmente necesitamos, es preciso que haya pasado por nuestras vicisitudes, que tenga nuestros defectos y dependencias, que sienta hambre, curiosidad, cansancio, que aprenda...

Se vislumbra un apasionante viaje por delante. Kitano se plantea un futuro donde los robots ganen a los humanos jugando al fútbol; E. Horvitz opina

De momento, “los sistemas de razonamiento más sofisticados están aún lejos de poseer la robustez, la amplitud y el sentido común de un niño de tres años”, dice López de Mántaras citando a Ron Brachman, actual vicepresidente de Yahoo Labs y exdirector de la Oficina de Tecnología de Procesado de la Información en la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada de la Defensa estadounidense, la famosa DARPA. Brachman señaló: “Tenemos ladrillos maravillosos, pero para construir la casa necesitamos cemento que los una y un plan arquitectónico”. El cemento está fraguándose y la comunidad científica con el tiralíneas preparado para edificar la nueva IA. Resulta curioso pensar cómo vería Turing, el padre de esta especialidad, un siglo después, a un robot ajedrecista, un *chatbot* engañando a un humano o un coche sin piloto por las calles de las ciudades de 2012. ©

## REPORTAJE



DEPOSITPHOTOS

La biomedicina estudia cómo manejar un conjunto de señales químicas modificables que activan o apagan los genes

## Epigenoma, la partitura de nuestro ADN

Hace apenas una década pensábamos que el genoma determinaba nuestro destino. Que las alteraciones en la molécula de la vida eran las que nos definían y determinaban irremediamente algunas de las enfermedades que padeceríamos. Que la melodía no se podía cambiar. Ahora, los científicos han descubierto una parte más sutil en nuestro material genético, señales que manejan el genoma y lo hacen sonar de la manera más afinada posible, en función del entorno que nos rodea. Es el bautizado como epigenoma, la partitura del genoma, que podemos interpretar de infinidad de maneras. Pero la humanidad aún está empezando a aprender este particular solfeo.

› América Valenzuela,  
periodista de ciencia

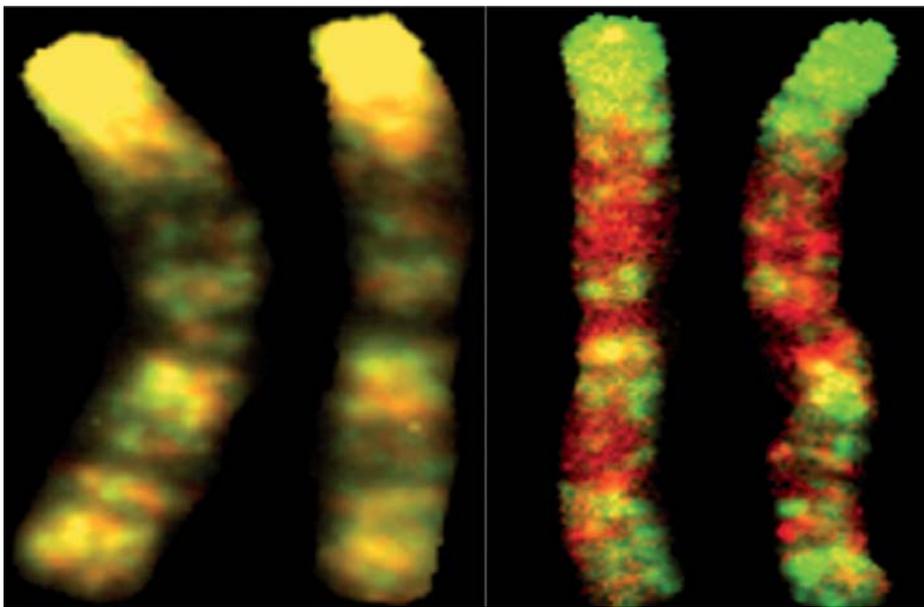
“El genoma es el abecedario y el epigenoma es la ortografía que da sentido a las palabras”, explica, usando una comparación más literaria que musical, el investigador Manel Esteller. Él es un referente mundial en el estudio de la epigenética del cáncer y el actual director del Programa de Epigenética y Biología del Cáncer del Instituto de Investigación Biomédica del Bellvitge (Idibell).

Sin metáforas, Juan Cruz de Cigudosa, jefe del grupo de Citogenética Molecular del Centro Nacional de Investigaciones Oncológicas (CNIO), añade que “el genoma es el conjunto de genes que tiene una célula y un individuo, estén expresados o no. El epigenoma representa los cambios químicos que no afectan a la secuencia de ADN pero sí modifican su expresión, activándolos o silenciándolos”.



IDIBELL

Manel Esteller, director del Programa de Epigenética y Biología del Cáncer del Idibell.



PNAS

A la izquierda, cromosoma 1 de gemelos de tres años, y a la derecha el de gemelos de 50 años. En verde las hipermetilaciones y en rojo las hipometilaciones.

Así, mediante la activación y desactivación de los genes, nuestros cromosomas pueden presentar diferentes combinaciones de genes activos y dar lugar a distintos tipos de células. “Una célula de la sangre y una neurona tienen el mismo genoma, pero no son iguales porque el epigenoma ha hecho que unos genes se expresen y otros no”, explica Cruz de Cigudosa.

Los factores epigenéticos que dirigen la interpretación del ADN dentro de cada célula son procesos químicos sencillos, llamados marcas químicas, entre los que

figuran la metilación de genes, la acetilación de histonas o las síntesis de ARN no codificante.

El estudio sobre gemelos idénticos realizado por el grupo de Esteller en 2005, cuando trabajaba en el CNIO, fue el que lanzó la epigenética a la fama por lo ilustrativo que es. Demostró que los gemelos univitelinos, los que tienen la carga genética exactamente igual, son distintos, a pesar de tener el mismo genoma, porque tienen el epigenoma diferente.

En este estudio participaron 80 parejas de gemelos, con edades compren-

didadas entre los tres y los 74 años, y sus resultados mostraron que el 35% de las parejas de hermanos genéticamente idénticos mostraban perfiles epigenéticos distintos. Los investigadores observaron que durante los primeros años de vida los gemelos idénticos son indistinguibles genéticamente y que a medida que se hacen mayores empiezan a aparecer las diferencias, de forma que cada vez son más acusadas. También concluyeron que los gemelos que han pasado menos tiempo juntos y han vivido en ambientes distintos son los que presentan las diferencias más significativas.

Estas marcas químicas acumuladas en el ADN durante nuestra vida y que hacen tan distintos a los hermanos del estudio también participan en el desarrollo de muchas enfermedades en la misma medida que las mutaciones. Así, por ejemplo, la epigenética explica cómo dos mujeres que han heredado una mutación en un gen que confiere un riesgo elevado de cáncer de mama pueden desarrollarlo a edades muy distintas. En un caso se puede manifestar a los 35 años, por ejemplo, y en otro a los 70.

Un detalle crucial que no han pasado por alto los expertos es que el epigenoma no es inalterable, sino todo lo contrario. Varía con la edad y según el ambiente y las circunstancias a las que se

ISTOCKPHOTO



ISTOCKPHOTO

La epigenética hace que, con la edad, los gemelos idénticos se vayan diferenciando.

## Los músicos que moldean el genoma

Las marcas químicas son los elementos de regulación epigenética, los músicos que tocan el genoma y que hacen que se haga sonar o se silencie un gen. Estas marcas no cambian el orden de la secuencia del genoma, no son mutaciones. Aún no está claro cuántos tipos de marcas químicas hay, pero entre las mejor descritas figura la metilación de genes o silenciación de genes. Sucede cuando este grupo químico metilo (formado por un átomo de carbono y tres de hidrógeno) se une a un gen (por la base nitrogenada citosina). Funciona como un interruptor y lo *apaga*.

Otro elemento clave en la regulación epigenética está relacionado con las histonas, que son las proteínas encargadas de empaquetar el ADN (ya que desplegado mide dos metros de longitud), en el núcleo de las células, cuyo diámetro medio es de 1,7 micras. Si las histonas están desreguladas expresarán genes que no deberían expresar, y cuando se acetilan, metilan o fosforilan cambian su manera de empaquetar el ADN, dejando zonas más holgadas y otras más comprimidas, lo que puede determinar que se silencie un gen o que se exprese.

Otra forma de regulación epigenética es la síntesis de ARN de transferencia (no codifican para una proteína) con secuencias complementarias a ADN o ARN codificante que impiden su traducción.

Estos mecanismos descritos son esenciales para el funcionamiento correcto de las células. Por ejemplo, para evitar la expresión de secuencias de ADN parasitarias, adquiridas tras millones de años de evolución o para ayudar a que en cada tejido se activen los genes que corresponden. El problema llega cuando se producen alteraciones indeseadas y se trastoca el comportamiento adecuado de los genes, lo que puede desembocar en el desarrollo de enfermedades. ▶

enfrente el individuo a lo largo de su vida. Puede modificarse con factores que nosotros podemos manejar a voluntad a través de nuestros hábitos de vida, como el consumo de tabaco, el ejercicio o la dieta, entre otros. Esto quiere decir que tenemos más control sobre nuestro destino genético de lo que se pensaba.

Con estos datos en la mano se ha abierto la línea de investigación más pro-

metedora de los últimos años en el campo de la biomedicina para diseñar tratamientos farmacológicos que, combinados

con un estilo de vida determinado, reviertan los efectos negativos del epigenoma. Los científicos trabajan en “describir los epigenomas aberrantes de cada enfermedad”, explica Cruz de Cigudosa, que estudia el papel de algunas mutaciones, en concreto los reordenamientos cromosómicos, que conducen al cáncer. Una vez que consigan averiguar los entresijos moleculares de las enfermedades podrán



Juan Cruz de Cigudosa, jefe del grupo de Citogenética Molecular del Centro Nacional de Investigaciones Oncológicas (CNIO).

comprender mejor cómo evolucionan y las causas de su aparición para determinar la mejor manera de frenarlas.

comprender mejor cómo evolucionan y las causas de su aparición para determinar la mejor manera de frenarlas.

### La epigenética del cáncer

Hasta el descubrimiento del primer gen metilado en 1995, la comunidad científica atribuía el cáncer únicamente a mutaciones genéticas irreversibles, es decir, a alteraciones en la secuencia normal de ADN, pero desde aquel hallazgo se multiplicaron con rapidez las investigaciones sobre la influencia de la epigenética en los procesos cancerosos. Ahora están en plena ebullición.

Tanto es así, que los oncólogos de 11 países se han movilizado y han cons-

tituido el Consorcio Internacional del Genoma del Cáncer (ICGC por sus siglas en inglés) para poner en común los hallazgos de los distintos grupos de trabajo en investigación en distintos tipos de cáncer.

Estos epigenomas completos recogen la totalidad de marcas epigenéticas de una enfermedad. “Y aunque estamos aún en la fase de acumular datos”, señala la Cruz de Cigudosa, “ya se han publicado algunos primeros epigenomas”. El de la leucemia linfática crónica, el segundo tipo de leucemia más común en adultos, fue publicado en octubre por la revista *Nature*. En su descripción han participado nueve centros españoles, como el Hospital Clínic de Barcelona, el Institut d’Investigacions Biomèdiques August Pi i Sunyer (Idibaps) y el CNIO.

El trabajo revela más de un millón de alteraciones epigenéticas propias de este tipo de cáncer que afecta a los glóbulos blancos y, además de darles firmes pistas sobre cómo diseñar fármacos para frenarlo, también ha permitido a los científicos distinguir nuevos subtipos de la enfermedad, de acuerdo con el distinto grado de metilación.

Los oncólogos saben, gracias a los trabajos de Esteller, que todos los tumores humanos tienen en común una alteración química concreta: la hipermetilación de los genes supresores de tumores. En condiciones normales, estos genes actúan como freno del cáncer, al evitar que las células se dividan descontroladamente, pero cuando son metilados se inactivan.

“Uno de los aspectos más interesantes y útiles de estos hallazgos es que son procesos reversibles”, apunta el científico catalán, “se pueden quitar las marcas químicas añadidas, como los metilos, que silencian al gen, para que vuelva a expresarse y nos siga protegiendo contra la aparición de un tumor”.

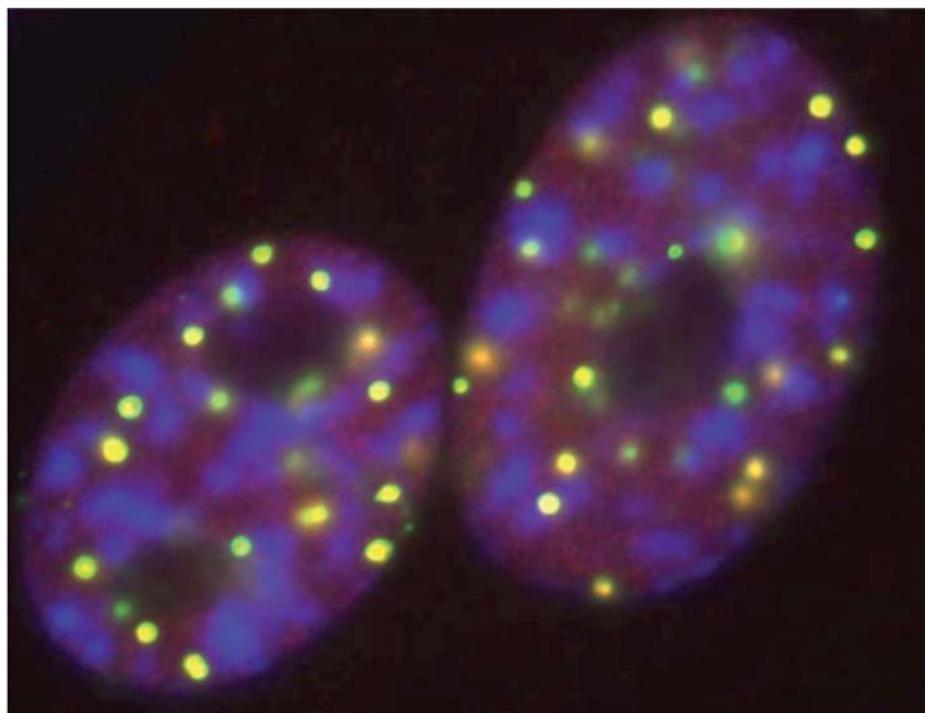


Imagen de la cromatina, el conjunto formado por el ADN y las proteínas del epigenoma.

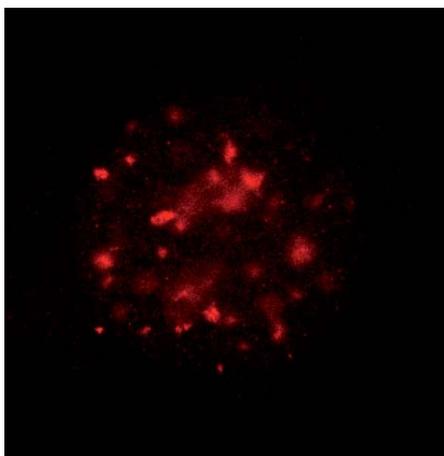
El objetivo de la investigación es, por tanto, evidente: cuanto más sepamos sobre las alteraciones epigenéticas de una enfermedad, mejor preparados estaremos para diseñar fármacos específicos, que ataquen a la célula maligna sin dañar a las demás, uno de los principales problemas de la quimioterapia actual. Y cuanto más sepamos del epigenoma de cada persona en concreto, mejor podremos diseñar un tratamiento adecuado a sus características; es decir, su cóctel de fármacos individualizado. Aunque, tal y como dice el investigador del CNIO, “aún no podemos hablar de ropa a medida, pero sí de Zara”.

Hay en fase preclínica más de medio centenar de estos fármacos que reprograman la célula tumoral al quitar las marcas químicas indeseadas. “Por el momento, ya hay cinco medicamentos de este tipo en el mercado, aprobados para su uso en ciertas formas de leucemia y linfomas”, explica Esteller. Para la leucemia mielóide crónica no había tratamiento, pero se descubrió una alteración molecular que detenía la enfermedad si era inhibida y se diseñó un fármaco dirigido

a esta alteración. La respuesta de curación ahora, gracias a este descubrimiento, es del 90%, mientras que con los tratamientos anteriores era de tan solo un 5%. Es un ejemplo de éxito rotundo de la investigación en epigenética.

“La gran ventaja de estos fármacos es que han demostrado ser muy poco tóxicos”, señala Esteller, aunque también tienen sus limitaciones, ya que, como reconoce este especialista catalán, “en su mayoría no son específicos, es decir, cambian la metilación de muchos genes. Lo que sucede es que la célula tumoral tolera peor estos cambios y puede morir, mientras que la célula sana es más resistente a los mismos”.

Hay muchas otras enfermedades con alto componente epigenético, como la diabetes, las enfermedades psiquiátricas (como la esquizofrenia y la depresión), las enfermedades autoinmunes, ciertas cardiopatías y numerosas enfermedades raras (como el síndrome de Rett o la fibrosis quística), así como enfermedades neurodegenerativas (como el parkinson o el alzheimer).



IDIBELL

Arriba, imagen de ADN metilado. A la derecha, representación de este proceso, que activa o paraliza la expresión génica.

### El envejecimiento

Otro aspecto de enorme interés y trascendencia es el nuevo enfoque que la epigenética puede ofrecernos en torno al envejecimiento. Quién sabe si tocando las teclas adecuadas podríamos revertir este proceso fisiológico. En junio, un equipo dirigido por Esteller presentaba la secuencia de los epigenomas de los glóbulos blancos de la sangre de un recién nacido, un individuo de edad intermedia y una persona de 103 años. Los resultados muestran que el centenario presenta un epigenoma distorsionado; que ha perdido muchos metilos, los encargados de apagar la expresión de genes inapropiados, aunque a cambio, se apaga también el interruptor de algunos genes protectores.

Para evitar estos cambios negativos en el epigenoma, a medida que envejecemos, tenemos en nuestra mano minimizar la exposición a factores de riesgo. “Es básicamente el mismo decálogo de vida sana de siempre”, comenta Esteller. Es decir, comer sano, evitar el consumo de alcohol, hacer ejercicio moderado, evitar el estrés, el exceso de radiación solar, dormir lo suficiente y no fumar contribuyen a mantener el epigenoma estable.

El consumo de tabaco produce cambios epigenéticos aberrantes (hipermeti-



lación exagerada), tenga cáncer el fumador o no. El exceso de radiación ultravioleta del sol también altera el epigenoma, pero aún no hay datos científicos que detallen cómo. El abuso de alcohol, por ejemplo, modifica las marcas genéticas de una manera negativa para la salud. Los alimentos también influyen en la activación y desactivación de los genes.

La fisióloga Juleen Zierath, del Instituto Karolinska de Suecia, publicaba en un número del pasado mes de mayo de la revista *Cell Metabolism* una investigación con cultivos celulares sobre la influencia del ejercicio físico sobre el epigenoma. “El ejercicio reprograma el músculo, induce cambios epigenéticos que hacen al tejido más eficiente en la metabolización de la glucosa y la combustión de grasa”, señala al referirse al trabajo. Esto puede tomarse como punto de partida para diseñar el tratamiento de enfermedades como la diabetes tipo 2 o algunas cardiovasculares.

Otro de los puntos más interesantes, sobre el que han puesto el foco los inves-

tigadores, es que estos patrones epigenómicos son heredables en las células, para bien y para mal. Por eso, están trabajando para averiguar si las modificaciones epigenéticas adquiridas durante la vida se transmiten a los descendientes directos en humanos. Hay estudios en moscas de la fruta y en plantas que dejan buena cuenta de ello.

Aún queda mucho por investigar. El genoma está compuesto solo por el 10% del ADN, mientras que el 90% restante está apodado como “ADN oscuro”. Se sabe que gran parte de este se encuentra activo regulando el genoma y que una parte es el epigenoma, pero solo conocemos pinceladas dispersas del gran cuadro. La tecnología es cada vez más potente y recoge datos más rápido, pero queda el paso más difícil: interpretarlos, poder llegar a leer la partitura epigenética con toda su riqueza de matices. La cantidad de datos y conexiones que forman parte del tapiz es tan ingente que Cruz de Cigudosa pre-sagia con humor: “El futuro está en manos de los bioinformáticos”. ©



> Alicia Rivera,  
periodista científica.  
Redactora de *El País*

Nuevas mediciones adelantan en miles de años el origen de la pintura rupestre cantábrica. ¿Fueron los neandertales sus autores?

## España alberga las pinturas más antiguas del mundo

Unas manos silueteadas con pigmento soplado alrededor, unos signos, unos caballos al galope, un grupo de hermosos bisontes inmortalizados en el techo de una cueva. ¿Quiénes fueron los primeros artistas que se expresaron así? ¿Cuándo vivieron? “Las pinturas rupestres bien datadas más antiguas que se conocen en el mundo son ahora las del norte de España”, afirma rotundo el científico Alistair Pike. Sus pruebas son las dataciones que ha realizado su equipo de medio centenar de obras en 11 cuevas del norte de España, incluidas Altamira y El Castillo. La novedad estriba tanto en el método avanzado de datación utilizado, por series de uranio, como en los resultados: varias pinturas son mucho más antiguas de lo que se pensaba. Tan antiguas que algunas se adentran en el período en el que se solaparon en el territorio los antiguos habitantes de Europa: los neandertales, y los humanos modernos, recién llegados de África hace poco más de 40.000 años. Se abre así la posibilidad de que fueran aquellos los autores remotos de algunas obras.

El revuelo científico, que puede convertirse en revolución prehistórica, dado que la investigación continúa, surgió el pasado mes de junio, cuando el equipo de Pike (Universidad de Bristol, Reino Unido), junto con arqueólogos y prehistoriadores españoles, dieron a conocer en la revista científica *Science* los resultados de las nuevas dataciones realizadas en cuevas de Cantabria y Asturias mediante series de uranio. La gran ventaja de la técnica empleada es que permite fechar pigmentos de origen no orgánico y, por tanto, inaccesibles para la datación por radiocarbono. En realidad lo que se determina con las series de uranio es la antigüedad de la costra de calcita —carbonato cálcico— que recubre las pinturas, por lo que estas no se llegan a tocar y se puede establecer su edad mínima.

La pinturas de la cueva de Altamira, en Cantabria, no son las primeras en el tiempo, pero sí las más famosas, y las nuevas dataciones no solo ayudan a es-

tablecer cuándo se pintaron esas obras de cronologías hasta ahora siempre inciertas, sino que han hecho retroceder su origen en el tiempo. “La más antigua, según estos nuevos análisis, es de hace 36.500 años”, explica José Antonio Lasheras, director del Museo Nacional y Centro de Investigación de Altamira. “Hemos hallado en nuestras excavaciones



Alistair Pike.



El “Panel de las manos” de la cueva de El Castillo, en Cantabria, contiene un disco cuya antigüedad supera los 40.600 años, siendo la pintura más antigua de Europa conocida.

en la cueva un nivel Gravetiense con dataciones de 22.000 años que atribuimos también, como lo más antiguo, a algunas pinturas rojas”, continúa.

Pero ahora, con el método de las series de uranio, se ha fechado un signo “que no sabemos lo que representa, es abstracto y no tiene referencia a nada natural, pero que es complejo, tiene una intencionalidad...”, comenta este especia-

lista y uno de los autores de la investigación. El signo está compuesto por cuatro trazos paralelos, cada uno con una doble curvatura, y está pintado con ocre, un pigmento mineral con alto contenido en óxido de hierro que se usaría disuelto en agua. Es el más antiguo en la cueva.

A continuación, cronológicamente, aparecen en Altamira unas siluetas rojas

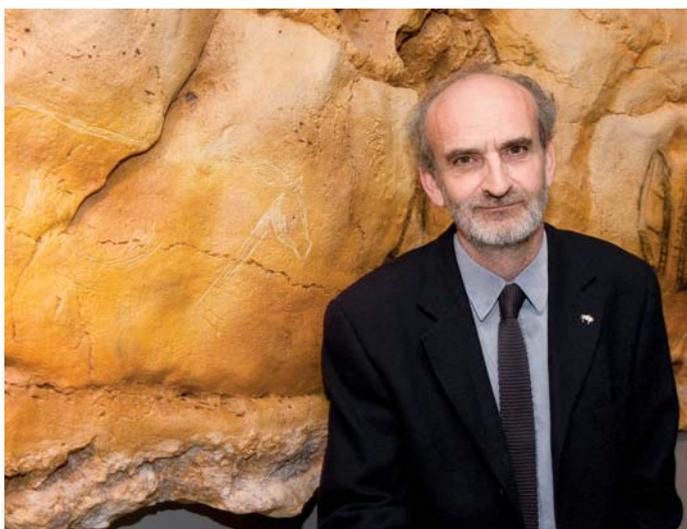
de caballos, pintadas también con ocre, datadas en más de 22.000 años. A continuación, hace unos 14.500 años, el mismo techo de la cueva, una superficie que cabría en un rectángulo de 15×13 metros, está ocupado por una manada de bisontes, una veintena, pintados con ocre

y negro, y poco después, hace unos 14.000 años, se pintan de nuevo unos bisontes, esta vez con negro de carbón y difuminados, lo que les confiere volumen, explica Lasheras. Las obras de arte —y no hay que olvidar, por ejemplo, unos grabados de ciervas y ciervos— se van superponiendo unas a otras a lo largo del tiempo en ese techo maravilloso. También quedaron impresas en él las huellas de unas manos hechas soplando el pigmento por un canuto alrededor de la extremidad posada en la pared o por el sencillo método de embadurnarse la mano en pigmento y plasmarla en la roca. “No sabemos el motivo exacto de la representación de las manos, pero tiene el contenido del gesto que corresponde a una persona individual pero es reconocible por todos, y parece que las hay de jóvenes y adultos, de hombres y mujeres, a la vista de las proporciones”, comenta el director del museo.

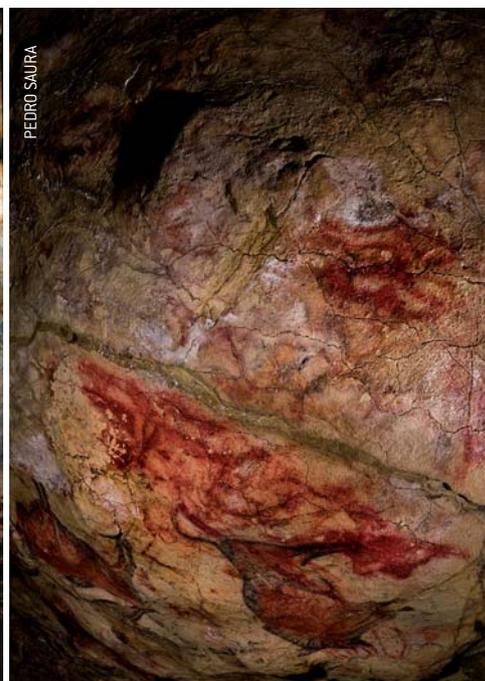
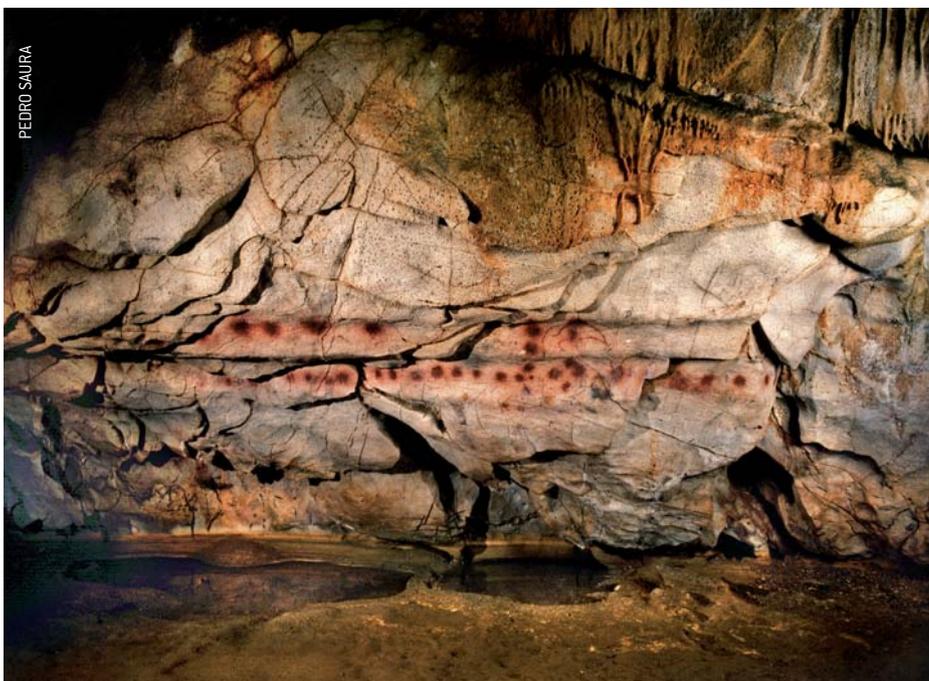
De cualquier forma, resume Lasheras, “Altamira era un lugar importante en la prehistoria”. Hace 13.000 años, añade, se derrumbó la entrada de la cueva y allí no entró nadie más hasta que se re-descubrió, hace casi siglo y medio.

### Nueva tecnología

Las cuevas de la cornisa Cantábrica, como otras en Francia, vienen siendo estudiadas desde hace tiempo por especialistas españoles y extranjeros. Pero en 2005 surgió una nueva perspectiva de análisis cronológico a raíz de unas dataciones de unos grabados en cuevas, que Pike y sus colegas habían realizado en Creswell Cregs, en Inglaterra, con el método de series de uranio mejorado y puesto a punto por ellos. Se planteó entonces la posibilidad de aplicarlo en el arte rupestre español. No es que esta técnica de datación fuera nueva, pero se había mejorado hasta tal punto que ahora se podía aplicar tomando muestras minúsculas, no de gramos de costra de calcita sino solo de entre 10 y 150 miligramos, y



José Antonio Lasheras.



A la izquierda, el “Corredor de los puntos”, en la cueva de El Castillo. A la derecha, el techo de Altamira, con un símbolo claviforme realizado 20.000 años antes que los célebres bisontes polícromos de la cueva.

obtener resultados precisos de una antigüedad mínima del pigmento. Como lo que se analiza es la capa de carbonato cálcico que se ha ido depositando sobre las pinturas, la antigüedad de estas tiene que ser, necesariamente, superior. Así, a los tintes minerales, de origen inorgánico y, por tanto, inaccesibles para las habituales técnicas de radiocarbono, se les puede asignar ahora una datación absoluta.

El equipo eligió las pinturas más interesantes para emprender las nuevas dataciones y se realizó el trabajo en 11 cuevas de Asturias y Cantabria (Altamira, El Castillo, Tito Bustillo, Pedroses, Las Aguas, Santián, El Pendo, La Pasiega, Las Chimeneas, Covalanas y La Haza).

Lo que está claro es que, aunque las pinturas más antiguas de Altamira hayan resultado tener muchos más años de lo que se creía, las nuevas dataciones no ponen patas arriba el marco referencial de su autoría. Sería el hombre moderno, nuestra especie actual, quien se expresó en ellas. Pero en la cueva de El Castillo, igualmente en Cantabria y también con

abundantes muestras de arte rupestre de diferentes épocas (más de un centenar de imágenes en distintas cámaras), los análisis realizados por Pike y sus colegas asignan una edad de 41.500 años a un disco punteado pintado con ocre en un panel lleno de huellas de manos, datadas ahora en 37.300 años.

“Teníamos buenas dataciones, por radiocarbono, de figuras negras hechas con carbón de hace entre 17.000 y 11.500 años, pero el problema era que no teníamos apenas datación absoluta de arte antiguo, que es más bien en rojo, pintado con ocre, o grabados”, explica César González Sainz, especialista de la Universidad de Cantabria y uno de los autores del trabajo presentado en *Science*. Y con las nuevas dataciones de las pinturas más antiguas se abre el debate de la posible autoría neandertal, aunque para un especialista como Joao Zilhao (Universidad de Barcelona), otro de los científicos del equipo, no tiene nada de sorpresa. “No tengo ninguna duda de que los neandertales pudieron hacer pinturas en las paredes”, dice. Pero recalca que se trata de

una probabilidad, aunque alta, y no de una certeza, ya que no hay datos suficientes para demostrarlo.

“La época de transición entre los neandertales y nuestra especie está entre los 40.000 y los 42.000 años”, señala Marcos García Díez, de la Universidad del País Vasco y miembro también del equipo investigador. El *Homo neanderthalensis* vive en Europa desde hace al menos 250.000 años y de su presencia hay numerosos vestigios repartidos por todo el continente. Hace algo más de 40.000 años entra en el territorio el *Homo sapiens* y poco después desaparecen los neandertales, sin que hasta ahora los científicos hayan logrado dar con una causa definitiva de esta sustitución completa de los unos por los otros en el territorio que comparten durante un tiempo. En Cantabria, en concreto, los neandertales existieron hasta hace 42.000 años. ¿Pudieron pintar las cuevas?

“Se conocen dibujos no figurativos en piedras y huesos con grabados asociados a los neandertales con antigüedad de hasta 60.000 años”, señala García Díez.



PEDRO SAURA



MARCOS GARCÍA DIEZ

A la izquierda, el “Panel de las manos” de El Castillo, una de cuyas pinturas tiene más de 37.300 años. A la derecha, Alistair Pike, recolectando muestras de calcita para su análisis y datación.

“Los neandertales tenían ese arte, muy sencillo, pero lo tenían, y usaban colorantes para decoración corporal, hacían collares.... La idea de que no tenían una conducta compleja, incluida la capacidad simbólica, es absurda”, asevera.

Zilhao es de la misma opinión: “Se había construido la teoría de que los neandertales eran menos inteligentes que nosotros, razón por la cual la especie humana actual habría ganado la competición y por eso estamos nosotros aquí y no ellos”. Pero esa idea se cae en la última década, insiste este investigador que impulsó el trabajo de colaboración con el equipo de Pike para datar las cuevas del norte de España. Además, recalca, el genoma del neandertal ha desmontado la idea previa de que estas dos especies humanas, la ancestral europea y la llegada de África, no se cruzaron entre sí. “Los genes muestran que ambas se mezclaron, hasta el punto de que nosotros compartimos el 4% de los genes con los neandertales”, recuerda.

Por otra parte, de la capacidad artística de nuestra especie antes de llegar a

Europa hay escasos vestigios. Se han encontrado, por ejemplo, piedras y conchas con grabados y dibujos muy simples de hace más de 50.000 años en África. Así, fueran unos u otros los inventores, el arte en los muros de las cavernas pudo haber surgido, o al menos haberse extendido, cuando ambos coincidieron en el territorio. Y aquí entra en el debate el significado del arte como expresión social y manifestación de la identidad de grupo. Para dificultar más las cosas, hay que tener en cuenta que existe un vacío de restos humanos en el norte de la Península Ibérica entre 36.000 y 45.000 años, es decir que no se han encontrado fósiles que puedan asociarse a las pinturas de esa época ayudando a señalar a los autores.

### Todos artistas

O el hombre moderno se trajo su capacidad artística desde su pasado en África y la expresó plenamente al llegar a Europa, o la inventó al poco de llegar, o puede ser que las pinturas de las cuevas sean anteriores a su presencia y, por tan-

to, se deban a los neandertales. No hay que olvidar la posibilidad de que ambos fueran los artistas, porque unos inventasen las pinturas de las cuevas y los otros les imitasen. Y se trata, en cualquier caso, de tecnologías artísticas muy sencillas, señala González Sainz, con colorantes que se pueden obtener en la misma cueva, ya sea el negro de la madera carbonizada en la hoguera, o el ocre mineral, o el manganeso (negro).

“La situación de contacto entre las dos poblaciones hace que sean necesarios los signos de identificación”, señala Zilhao. “Los colgantes y la decoración corporal con pigmentos son como el DNI ahora, una identificación de los individuos, y se hacen necesarios cuando hay mucha más gente en el territorio, cuando hay extraños”. En cuanto a las pinturas de las cuevas, incluso si los neandertales las copiaron del hombre moderno hay que considerar que “para copiar hay que entender lo que se copia”, como dice este defensor de la inteligencia, la cultura simbólica y la tecnología sofisticada de los antiguos pobladores

Europeos. Es más, él cuestiona incluso esa diferencia en dos especies (definidas por criterios morfológicos del esqueleto, apunta) y prefiere hablar de dos poblaciones de la misma especie *sapiens* con notables diferencias entre sí, “porque nosotros ahora somos anormalmente homogéneos”, añade.

En definitiva, sobre la autoría de las pinturas rupestres más antiguas, de momento hay diversidad de opiniones. “Lo más probable es que correspondan a las nuevas poblaciones de *Homo sapiens* y que no sean ajenas a su éxito biológico frente al fracaso de los neandertales que se extinguieron”, apunta González Sainz. Él, como otros especialistas, asocia el arte de las cuevas a una forma de transmisión de la información, de la tradición, que así no es ya exclusivamente oral. “Aquellos humanos codificaban mediante signos ideas y creencias colectivas, que es una complejidad cultural superior”. Esto conferiría a nuestros antepasados una organización social más flexible que la de los neandertales, lo que los haría más versátiles y más capaces de adaptarse al entorno cambiante y de competir por los recursos en el territorio con una cierta ventaja, añade este investigador de la Universidad de Cantabria. Lo cierto es que hay muchas hipótesis, pero la ciencia no es capaz aún de dar una respuesta contundente al misterio de la extinción de los neandertales, que llevaban en Europa 200.000 años, justo cuando llegaron los extranjeros, nuestra especie.

Las nuevas dataciones de las pinturas, tanto las ya realizadas y publicadas en *Science*, como las que el equipo está ahora haciendo en otras muestras, establecen cuándo se hizo aquel arte. Pero el misterio sobre la autoría del arte rupestre más antiguo solo se zanjaría si se encontrasen obras anteriores a 42.000 años, es decir, previas a la llegada del hombre moderno a la zona, lo que demostraría que fueron los neandertales

quienes empezaron a expresarse en las paredes y techos de las cuevas. Los 41.500 años de las pinturas más antiguas de la cueva de El Castillo se acercan ya mucho a ese punto.

### **Datación por uranio y sin tocar el arte**

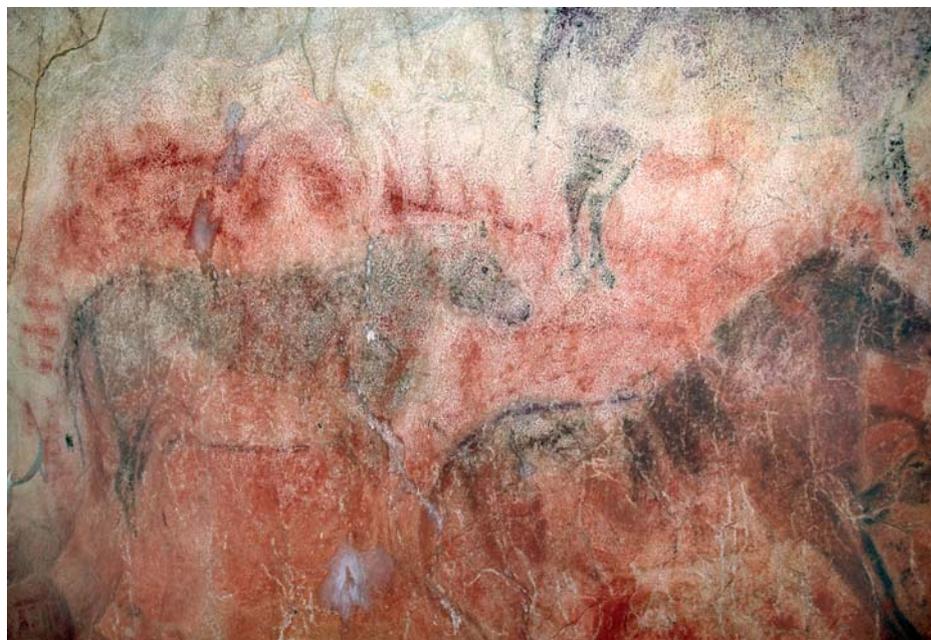
Sobre la roca de las cuevas, pintada o no, se va formando con el tiempo una costra de carbonato cálcico debido a las filtraciones. Es la misma calcita que se va depositando y crea estalactitas y estalagmitas. Y esas costras de unos milímetros de grosor brindan la posibilidad de establecer dataciones absolutas aplicando la técnica de series de uranio. Se basa en el desequilibrio en el decaimiento de los isótopos de las series radiactivas naturales, explican los expertos del Centro Nacional de Investigación sobre Evolución Humana (en Burgos) que han participado en las nuevas dataciones de arte rupestre en cuevas de Asturias y Cantabria.

“Las costras de carbonato cálcico incorporan minúsculas cantidades de uranio, que es naturalmente radiactivo, y al desintegrarse se transforma en torio, y la medida de ambos elementos nos puede decir cuándo se han formado esas cos-

tras”, explica Alistair Pike, líder de la investigación. El método se conocía hace tiempo, pero este científico británico lo ha mejorado hasta el punto de que ahora se puede aplicar con muestras muy pequeñas. “Hace 20 años habríamos necesitado un gramo de material para hacer los análisis”, añade, “mientras que ahora bastan unos diez miligramos”.

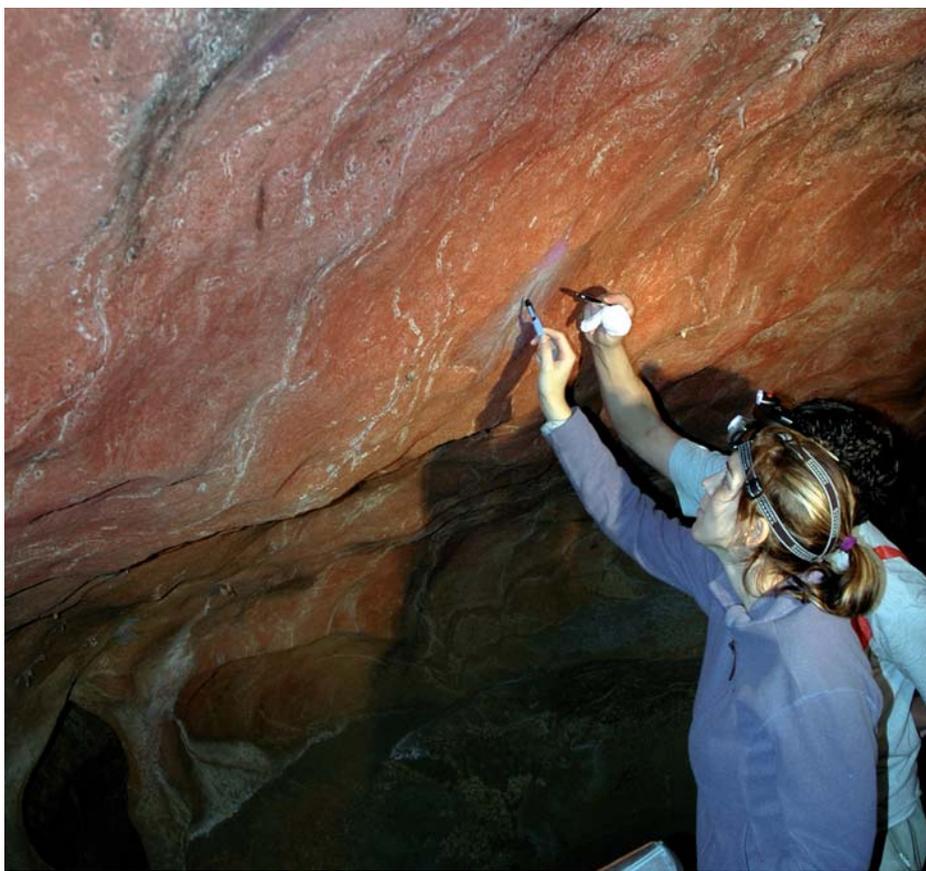
La técnica se basa en la proporción del uranio ( $^{238}\text{U}$ ) y torio ( $^{230}\text{Th}$ ) en la muestra. El uranio, tal como suele encontrarse en la naturaleza, es soluble en agua y está presente, por tanto, cuando se forma la costra de calcita, pero no así el torio. Sin embargo, parte del uranio, por desintegración radiactiva, decae a medida que pasa el tiempo y aumenta la proporción de torio en la costra. Los científicos miden el grado de desequilibrio entre ambos elementos, lo que indica cuándo se produjo la precipitación de la calcita.

Pike ha explicado cómo es el proceso: “Limpiamos muy bien la superficie de la roca y luego hacemos un pequeñísimo arañazo en la costra de calcita, con un escafpelo, hasta justo encima del pigmento, de manera que, primero, nos detenemos



Pinturas de caballos, de dos metros de longitud, en la cueva de Tito Bustillo, en Asturias.

RODRIGO DE BALBÍN BEHRMANN



Investigadores de la Universidad de Bristol trabajando en la cueva Tito Bustillo.

antes de dañar la pintura y, segundo, nos aseguramos de que el material está directamente encima del arte”. A continuación se disuelve la muestra y se extrae el uranio y el torio, presentes en cantidades ínfimas. “Entonces utilizamos un espectrómetro de masas que, literalmente, cuenta los átomos de los distintos isótopos de uranio y de torio que tenemos en la muestra; a partir de la ratio entre unos y otros podemos determinar el tiempo transcurrido desde que se formó la calcita”.

Con este método es posible datar no directamente los pigmentos, pero sí las costras formadas inmediatamente encima de ellas, lo que proporciona una antigüedad mínima de las pinturas. Y la técnica permite datar colorantes de origen no orgánico, como el ocre rojizo (un mineral de hierro) de las cuevas, inaccesibles a la técnica del radiocarbono. La precisión que se logra, explica el cientí-

fico británico, varía de muestra a muestra, “pero si la calcita está muy limpia podemos alcanzar una exactitud de la datación inferior a 150 años, que es diez veces superior a la de la técnica de radiocarbono”. Sin embargo, añade, “si se han incorporado sedimentos a las muestras, aplicamos correcciones y aumenta la incertidumbre de la datación”.

“Las pinturas de las cavernas, en el pasado, resultaban difícilísimas de datar”, señala el investigador. “El problema principal es que el método del radiocarbono requiere la presencia de pigmentos orgánicos, y no siempre están presentes, sobre todo en los símbolos más antiguos que nosotros hemos datado y que todos están hechos con pigmento mineral rojo”. Además, añade, allí donde se pintó con carbón, solo se pueden tomar muestras muy pequeñas para no dañar las pinturas y el efecto de la contaminación se magnifica. “Por tanto”, concluye Pike,

“en la literatura hay muchos ejemplos en que dos dataciones con radiocarbono de la misma pintura difieren en varios miles de años”.

El método de las series de uranio ahora aplicado en las cuevas españolas soslaya estas pegas. Además, también se puede utilizar para datar grabados en las rocas.

Varias investigaciones previas intentaron un enfoque similar al de Pike y sus colaboradores, incluso en algunas cuevas en España, pero resultaron infructuosas por varias razones, según explica. Por un lado, los depósitos de calcita se pueden formar en cualquier momento, por lo que hay que tomar muchas muestras hasta estar seguros de haber dado con la capa que se formó poco después de que se hiciera la pintura. “Si hubiéramos tomado solo tres o cuatro muestras, es poco probable que hubiéramos obtenido la calcita suficientemente antigua para que el análisis tuviera interés arqueológico”, comenta. Ellos han hecho más de 50 muestreos en total y tomando solo 10 miligramos de calcita, lo que amplía el número de posibles pinturas en las que se puede sacar, en comparación con el mismo método cuando hacía falta más material para el análisis.

El trabajo de este equipo continúa y ya han identificado más de una treintena de cuevas en España, Francia e Italia con depósitos de calcita apropiados para trabajar.

Por supuesto, la integridad del arte del pasado remoto ha de ser siempre garantizada en cualquier investigación. “Altamira tiene una doble personalidad, de conservación y de investigación”, recalca su director, José Antonio Lasheras. Y ese cuidado exquisito se aplica también a las otras cuevas. “Con el método de las series de uranio, a diferencia del de las series de  $^{14}\text{C}$ , que exige tomar una muestra aunque sea mínima, no se toca en ningún momento el arte”, afirma. ©



Dos tercios del combustible nuclear fabricado en Juzbado se destinan al mercado internacional

## Enusa: 40 años poniendo las pilas a las nucleares

Las centrales nucleares producen electricidad gracias al calor que genera su combustible nuclear. Ese combustible atómico, esas pequeñas pastillas, que dan lugar a las reacciones nucleares, están hechas de óxido de uranio y contienen en torno al 4% del isótopo fisionable del uranio, el  $^{235}\text{U}$ . En Juzbado, un pueblo de Salamanca, está el único lugar en España que diseña, fabrica y distribuye ese combustible. Pertenece a la empresa Enusa, que ha cumplido ya 40 años. Comenzó entonces ocupándose de la minería del uranio y hoy, además de fabricar combustible nuclear, ha recuperado el entorno ambiental de la vieja mina de Saelices el Chico, también en Salamanca, y apuesta por el uso del biogás y de los residuos sólidos urbanos para producir energía renovable. De su proyección internacional da idea el que el 70% de su producción de combustible nuclear en 2011 se exportara a otros países.

› Antonio Calvo Roy,  
periodista científico

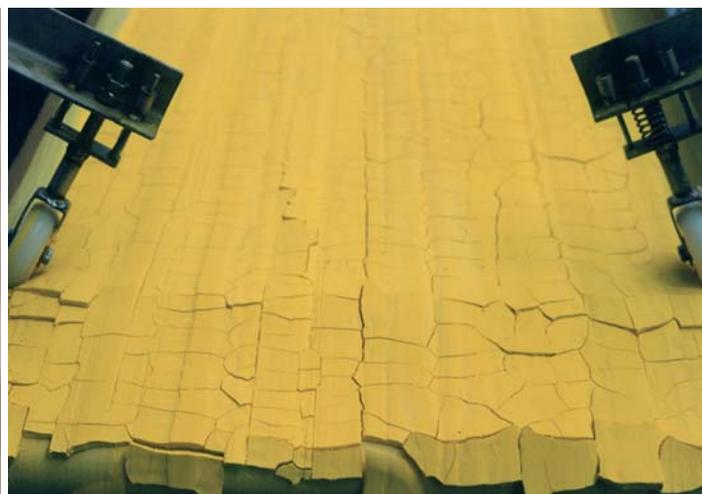
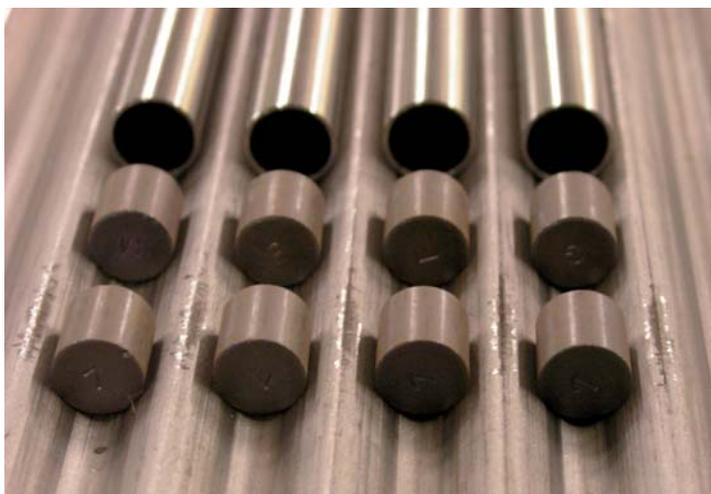
TECNOLOGÍA  
NUCLEAR  
ESPAÑOLA  
2

La década de los años 70 fue, en todo el mundo, la década de las centrales nucleares. En 1964 se celebró en Ginebra la III Conferencia Mundial sobre Usos Pacíficos de la Energía Nuclear, un año antes de que comenzara en España la construcción de José Cabrera, que entró en funcionamiento en 1968. Los periodistas que viajaron a Inglaterra a ver las centrales y los centros de investigación nucleares titulaban sus crónicas como *Viaje al futuro*. Entonces, parecía necesario que España incrementase su grado de participación en las distintas fases del ciclo nuclear y así, en 1972, se creó Enusa, la Empresa Nacional del Uranio Sociedad Anónima, para ocuparse de la primera parte del ciclo del combustible, desde la minería hasta la fabricación de pastillas y de elementos combustibles.

La Junta de Energía Nuclear, donde residía el mayor conocimiento y la actividad nuclear de España, traspasó a Enusa sus yacimientos de uranio de Saelices el Chico (Ciudad Rodrigo, en Salamanca). Pocos años después, en 1975, se le-

vantó en esa misma instalación la planta Elefante, donde se obtenían los concentrados de uranio mediante lixiviación estática. Pero todavía no se fabricaba allí el combustible propiamente dicho, que llegaba a nuestras centrales desde el exterior. En 1991 se decidió construir una nueva planta, llamada Quercus, en el mismo emplazamiento y destinada a la producción de concentrados de uranio. Poco a poco, desde la pura extracción del mineral, se fue avanzando hasta completar más etapas del ciclo.

La fábrica de Juzbado, en Salamanca, la instalación principal de Enusa, se inauguró en 1985 y es la última parada de un largo camino que se inició en 1974. Aquel año, dos después de la fundación de Enusa, se firmó con dos de las empresas constructoras de centrales, Westinghouse Electric Corporation y General Electric, un acuerdo para llevar a cabo transferencia de tecnología del mundo nuclear y formación de personal necesarias para abordar la producción de combustible. José Cabrera llevaba produciendo electricidad desde 1968 y Garoña



FOTOS: ENUSA

A la izquierda, las pastillas de uranio que se insertan en las varillas. A la derecha, el concentrado de uranio conocido como *yellow cake*.

desde 1971. Con los conocimientos adquiridos, en 1981 técnicos españoles realizaron para Enusa, por primera vez de manera autónoma, el diseño de una recarga de combustible, en concreto para la central José Cabrera. Y así, entre 1981 y 1985 se construyó la fábrica de Juzbado y este último año se llevó a cabo el primer suministro de combustible, en concreto para la central de Ascó.

En Juzbado, por tanto, se fabrica el combustible que hace que las centrales nucleares funcionen, las pastillas cerámicas de óxido de uranio. Estas pastillas se obtienen a partir de la llamada “torta amarilla” (más conocida por su nombre

inglés, el *yellow cake*), que es un concentrado del mineral de uranio presente en la naturaleza. El uranio tiene tres isótopos, de los cuales uno, el  $^{235}\text{U}$ , es fisiónable y por tanto, es el único aprovechable para la generación de energía nuclear, pero en la naturaleza se encuentra en una proporción muy pequeña, en torno al 0,7%. En las pastillas, llamadas *pellets*, ese isótopo está en una proporción que varía entre el 2 y 5%, y como no se encuentra así en la naturaleza, para obtenerlo en la proporción adecuada es necesario un proceso de enriquecimiento del uranio. Ese proceso se hace fuera de España.

Una vez hecho este enriquecimiento, el polvo de uranio es transportado a la fábrica de elementos combustibles de Juzbado, la única de estas características en nuestro país. Allí se diseña, fabrica y distribuye el combustible para las centrales nucleares que operan en España (todas menos Trillo) y de muchos otros países de Europa.

Desde su inauguración y hasta la fecha, en Juzbado se han procesado ya 5.915 toneladas de uranio. Y, aunque en principio se pensaba solo en el mercado nacional, pronto fue evidente que el mundo, que era ancho y ajeno, estaba ahí fuera y se podía llegar a él. En 2011, el



Vista general exterior de la fábrica de combustible nuclear que Enusa tiene en Juzbado (Salamanca), la única existente en España.

70% de la producción ha ido ya al mercado exterior.

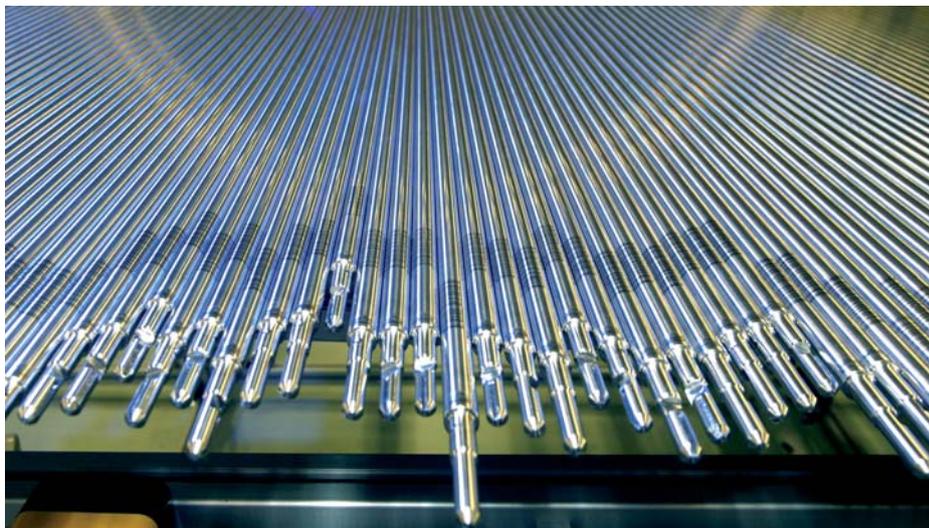
Y es que la mirada internacional de Enusa es, hoy, una de sus señas de su identidad. Como explica José Luis González, presidente de la empresa, “a mediados de los años 90 iniciamos la línea de actividad exterior y hoy en día el 60% de nuestra producción está dedicada al mercado internacional. Además participamos, junto a otras empresas españolas del sector, en un plan de desarrollo de actividades en China y Sudamérica.”

La globalización ha hecho que el mundo ya no sea ni tan ancho ni tan ajeno. Por eso, dice González, “en el año 2011 hemos hecho un gran esfuerzo de expansión internacional para suministrar equipos y servicios de combustible a países como Brasil, Argentina y China, a través del consorcio del SNGC (Spanish Nuclear Group for Cooperation) y de las relaciones estratégicas con socios tecnológicos”.

### Un grupo bien orientado

Enusa es en realidad la cabeza de un grupo compuesto por varias sociedades. La empresa matriz, Enusa Industrias Avanzadas, S. A., pertenece a la Sociedad Estatal de Participaciones Industriales, SEPI, que tiene el 60% del capital, y al Ciemat, que tiene el 40%. Y no solo se ocupa del diseño, la fabricación y el suministro de combustible, sino también de la prestación de otros servicios a centrales nucleares. Además, lleva a cabo proyectos de gestión ambiental, tanto en la restauración de las antiguas instalaciones mineras de uranio como en la descontaminación de suelos y aguas industriales. Por último, desarrolla nuevas aplicaciones energéticas. En este último campo, durante 2011 han entrado en funcionamiento una planta de biogás en Juzbado y una planta de residuos sólidos urbanos en Castellón.

La plantilla de todo el grupo asciende a casi 900 personas, de las cua-



Extremos de las varillas que contienen las pastillas de uranio.

les 600 pertenecen a la matriz. En cuanto a la cifra de negocio, la del año 2011 fue de 360 millones para todo el grupo, 325 de ellos de la sociedad cabecera. Un año que en palabras de su presidente, José Luis González, ha sido “de buenos resultados y en el que debemos reseñar tres hitos notables: primero, alcanzamos la máxima producción histórica anual, 341 toneladas de uranio, el 70% de ellas para centrales no españolas. Segundo, hemos hecho el informe de pruebas de resistencia que nos pidió el CSN y, por último, hemos sometido a la fábrica de Juzbado, por primera vez, a una revisión de sus sistemas de gestión de seguridad a través del modelo *peer review*, es decir, revisión por expertos ajenos.”

Como grupo, Enusa está compuesto por la sociedad matriz, Enusa Industrias Avanzadas, S. A., y sus participadas. Por lo que se refiere al combustible, sin duda su negocio principal, Enusa posee el 50% de Enusa-Enwesa AIE, que repara elementos combustibles PWR (para centrales de agua a presión) y ofrece servicios relacionados con el núcleo del reactor y sus componentes. Como es natural, también participa, aunque en este caso con un 49%, en una empresa que ofrece suministro de combustible a

centrales nucleares europeas de tipo BWR (de agua en ebullición) y servicios de ingeniería, Genusa. Y, por último, posee el 25% de SNGC AIE, dedicada, como ya se ha mencionado, a la promoción comercial de productos y servicios para centrales nucleares en China y Suramérica.

Además, posee el 100% de ETSA, una empresa dedicada al transporte de mercancías peligrosas; el 51% de Molypharma, dedicada a la radiofarmacia y la producción de isótopos radiactivos; y el 100% de Enusegur, que se ocupa de transporte, depósito y distribución de explosivos. Por si fuera poco, tiene una participación menor, 10%, en Cetramesa, experta en desarrollo de la logística y el transporte en Salamanca y la zona oeste de Castilla y León. En el área ambiental, también forma parte del grupo la empresa Emgrisa, participada en un 99%, y que se ocupa del tratamiento de suelos contaminados y la gestión de residuos y vertidos industriales.

En cuanto a participaciones puramente financieras, Enusa tienen el 11% de Eurodif, empresa francesa de enriquecimiento de uranio, y el 10% de Cominak, una empresa que extrae uranio en Níger.

## En casa, cuchillo de hierro

Una de las áreas de trabajo de Enusa es la restauración paisajística y ambiental de las antiguas minas del uranio y así, se ha aplicado su propia receta en la mina de Saelices el Chico, en Salamanca, precisamente donde la empresa arrancó su andadura. De la mano de Enresa, y con un presupuesto de más de 100 millones de euros, ha acometido el mayor proyecto de restauración de todas las instalaciones radiactivas del ciclo del combustible nuclear en España. Se trata de dismantelar las instalaciones industriales y recuperar geomorfológica, hidráulica y ambientalmente toda la zona, que incluye unas 300 hectáreas. Han tenido que mover 24 millones de metros cúbicos de tierras en la que es, probablemente, la mayor restauración minera de España y de Europa.

La restauración se llevó a cabo tratando de reducir el impacto radiológico, acondicionando todas las estructuras que pudieran ser contaminantes para que quedaran integradas en el paisaje y protegiendo los recursos hídricos. Primero se llevó a cabo el dismantelamiento y restauración de la planta Elefante; después la restauración definitiva de las zonas mineras, lo que incluye la recuperación geomorfológica, hidráulica y forestal del terreno afectado por las explotaciones mineras, la reducción del impacto radiológico y la integración paisajística de las estructuras restauradas en el entorno. Por último, se procedió al dismantelamiento de

la planta Quercus y las estructuras asociadas. En la actualidad, se están llevando a cabo los trabajos de restauración de las antiguas explotaciones mineras de uranio de las minas Fe y D, que dejaron de explotarse en el año 2000. Se trata de recuperar el espacio natural afectado para tratar de devolverlo a su uso primitivo, con unas condiciones medioambientales y radiológicas que han de ser lo más similares posible a la situación de partida, antes de que comenzara la explotación minera. ▶



Terrenos restaurados de las antiguas minas de uranio de Saelices el Chico, en Salamanca.

### Incrementar la seguridad

Igual que al resto del mundo nuclear, a la primera parte del ciclo también le ha afectado el accidente de Fukushima. “No hay duda —dice José Luis González— de que ha marcado un antes y un después en el desarrollo de los programas nucleares de algunos países. Y, en todo caso, ha dado lugar a una profunda reflexión entre los profesionales del sector para establecer las causas y, sobre todo, las posibles mejoras a implementar que refuercen la seguridad de las instalaciones. En el mundo nuclear siempre se han tenido muy en cuenta las lecciones aprendidas y las de Fukushima, creo yo, serán grandes”.

Por eso, en Enusa han prestado especial atención a los análisis de las pruebas de resistencia. Se presentó en su día el informe correspondiente a los *stress test* que había solicitado el CSN. Los resultados obtenidos han sido satisfactorios y han incluido una propuesta de modificaciones en la instalación para incrementar aún más los exigentes niveles de seguridad actuales. “La seguridad, señala González, sigue constituyendo para nosotros uno de los pilares básicos. Estamos satisfechos porque los resultados de estas pruebas muestran la solidez del diseño y los altos márgenes de seguridad de nuestra fábrica.”

Y, sin duda, una de las maneras de incrementar la seguridad, y también la calidad del producto, los sistemas de fabricación, control, etcétera, es sometiendo la instalación a los ojos de los expertos. Por eso la fábrica de Juzbado, por primera vez y por voluntad propia, ha decidido someter sus sistemas de gestión de seguridad a una revisión a través del modelo *peer review*, es decir, por expertos. Igual que los artículos enviados a las revistas científicas se someten al juicio de expertos, de pares, en el proceso conocido con ese mismo nombre, en este caso es la instalación la que se ha puesto bajo la lupa de exigentes expertos. “Se trata de una potente y

sistematizada herramienta cuyo objetivo es identificar las áreas de mejora relativas a la seguridad,” asegura González.

Con respecto al área ambiental hay que señalar otro hito importante este año: el desarrollo de nuevas aplicaciones energéticas ha conducido a la puesta en funcionamiento de una planta de generación de energía eléctrica a partir de biogás en Juzbado. Además, también se ha inaugurado la Planta de Gestión de residuos sólidos urbanos de Cervera del Maestre, en Castellón. Se trata, en todo caso, de abrir el abanico para ser más competitivo en un mundo globalizado. “Queremos trabajar en la valorización del biogás para usos energéticos”, explica José Luis González. “La planta de biogás de Juzbado, que ha supuesto una inversión de dos millones y medio de euros, recibirá anualmente unas 20.000 toneladas de residuos agrícolas, tanto de ganadería como de industria, y con ellos generará unos cuatro millones de kWh de energía renovable.”

Y es que, como empresa nuclear, las preocupaciones ambientales forman parte de su quehacer diario. “Somos conscientes de nuestra responsabilidad para



Los laboratorios de la fábrica de Juzbado garantizan la calidad de su producción.

con el medio ambiente y realizamos un estricto control del impacto que nuestras actividades tienen sobre el entorno”, dice González. La fábrica cuenta con un Plan de Vigilancia Ambiental, controlado por el CSN, que garantiza un comportamiento respetuoso con el medio ambiente y que cumple los más exigentes criterios.

En cuanto a la responsabilidad corporativa, esa nueva manera que tienen las empresas de estar en el mundo para com-

portarse como buenos ciudadanos por encima de lo que marque la ley, en el caso de Enusa “se traduce en el respeto al medio ambiente, el compromiso, tanto con nuestros trabajadores como con las comunidades en las que desarrollamos nuestra actividad de negocio y la gestión



## Un hombre de la casa

José Luis González, el actual presidente de Enusa, es un hombre de la casa de toda la vida. Este ingeniero industrial lleva aquí desde 1975, solo tres años después de la creación de la sociedad. Y, claro, ha hecho de todo. En 1971, tras terminar la ingeniería en Madrid, en la especialidad de técnicas energéticas, trabajó dos años en una multinacional estadounidense, pero muy pronto mandó el currículum a Enusa, donde entró en 1975. Primero se formó en Wilmington, Carolina del Norte (EE. UU.), donde tenía instalaciones General Electric; y después también en la competencia, en la Westinghouse de Columbia, la capital de Carolina del Sur.

A su regreso, trabajó en el diseño, licenciamiento y puesta en marcha de la planta de Juzbado, donde más tarde fue jefe de fabricación y finalmente, desde 1986, director. Allí permaneció hasta 1993, cuando pasó a ocuparse de la División de Uranio. Por úl-

timo, en 1997 accedió a la presidencia de la compañía, en la que continúa. Ha sido presidente de la Sociedad Nuclear Española, del Comité Consultivo de la Agencia de Suministro del EURATOM y de la World Nuclear Association, miembro del SAGNE (grupo de asesoramiento al director general del Organismo Internacional de Energía Atómica, OIEA), y del Comité Asesor para la infor-



Los elementos combustibles, durante el proceso de fabricación en las instalaciones de Enusa.

responsable y transparente hacia nuestros grupos de interés”, dice González.

Enusa está integrando en una estrategia común las prácticas responsables, que ha tratado de llevar a cabo desde su puesta en marcha en 1985. Los tres pilares sobre los que se basa esta decisión son la mejora continua, la apuesta firme por la calidad y el respeto ambiental. Y, junto a ellos, las nuevas actuaciones y líneas de acción, como la atención a las exi-

gencias del gobierno corporativo, al diálogo con todos los grupos de interés y la edición de las memorias de sostenibilidad de acuerdo con los estándares más aceptados. Para González, “hacemos todo esto con esfuerzo e ilusión porque tenemos el objetivo último de ser una empresa responsable y sostenible.”

En el año 2011 la fábrica de Juzbado produjo 1.029 elementos combustibles. De ellos, 532 fueron para centrales

mación y participación pública del CSN. Tiene muy claro que “llegar a ser presidente de una empresa en la que has iniciado tu vida profesional es un motivo de satisfacción y orgullo. Pero no creo que ser presidente de una empresa de energía nuclear, como es Enusa, exija mayor responsabilidad que ser presidente de cualquier otra empresa”.

Y, con respecto a su mirada sobre el mundo de la energía, es partidario de la necesaria contribución de todas en la cesta energética para asegurarnos el futuro. Nuclear, sí, pero “las energías renovables son complementarias de la energía nuclear, no son excluyentes. De hecho, creo que el debate entre nuclear y renovable no es correcto, porque creo que todas son necesarias para la humanidad. Soy un firme defensor de todas las energías.”

Alguien que lleva tanto tiempo en el mundo nuclear debe ser consciente, y González lo es, de las lagunas dejadas, de las cosas que, históricamente, no se hicieron bien. Sobre todo en el campo de la comunicación. “Los nucleares no nos hemos caracterizado por hacer una comunicación aceptada ni aceptable. De hecho, en los entornos de las centrales nucleares, donde más se conoce y se vive, son favorables a esta energía.” También por eso presidió el Foro Nuclear, la institución del sector que mejor entiende y más hace por la comunicación nuclear. ▶

de tipo PWR (de agua a presión, los contruidos con licencia de Westinghouse) y 497 para las de tipo BWR (de agua en ebullición, los de General Electric).

### Tecnología puntera

En una empresa que ofrece servicios de ingeniería, el equipo humano juega un papel relevante. Así, Enusa ofrece servicios que permiten cubrir las demandas de consultoría e ingeniería de las centrales nucleares, adaptándose a sus necesidades. Esto incluye el diseño del combustible y el seguimiento en las centrales y definición y gestión de los programas de I + D, conjuntamente con las compañías propietarias de las centrales. Además, durante la recarga del combustible se lleva a cabo la definición del esquema de la recarga, el análisis de accidentes y el diseño termohidráulico, lo que implica realizar los cálculos neutrónicos para otras empresas del sector.

Por supuesto, se garantiza, controla y certifica la calidad final del producto. Y se ofrecen servicios de combustible, lo que supone coordinar las campañas de inspección y reparación para que se ajusten a los programas de recarga, y realizar los servicios de recepción de combustible fresco y de manejo de combustible irradiado durante la parada de recarga.

Se trata, en definitiva, de una vieja apuesta que ha cumplido 40 años y que, sin embargo, no para de adecuarse a los nuevos tiempos. El mundo nuclear, igual que el resto del mundo industrial, empresarial y social, ha de adecuarse a los nuevos tiempos y ser riguroso y flexible. Abierto a nuevas oportunidades relacionadas con su conocimiento y desempeño y, sobre todo, sin descuidar la mejora en su trabajo diario, porque la competencia es grande. Por eso, la apuesta internacional es, hoy, una pieza clave de Enusa recordando, quizá, a Santiago Ramón Cajal: “Solo luchando con los fuertes se es fuerte”. ©



› Vanessa Lorenzo López,  
asesora del Área de  
Comunicación del CSN

Durante una jornada abierta al público,  
organizada por el Consejo de Seguridad Nuclear

## El CSN presenta los resultados de las pruebas de resistencia de las centrales nucleares

“No hay lugar para la autocomplacencia”, este fue el mensaje más repetido el pasado 25 de octubre en el salón de actos del Ministerio de Industria, Energía y Turismo (MINETUR). Hasta allí se trasladó el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) para presentar públicamente los resultados de las pruebas de resistencia realizadas a las centrales nucleares españolas. Tras año y medio de exámenes, revisiones, informes, reuniones, viajes, etc., una de las principales conclusiones a la que han llegado los organismos reguladores de más de 17 países señala que, en materia de seguridad nuclear, siempre existe un margen de mejora.

El pasado 25 de octubre el sector nuclear acudió a una cita ineludible en la sede del Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Dado el creciente interés público, y en aras de su política de transparencia e información a la población, el Consejo de Seguridad Nuclear, con la colaboración de la Asociación de Municipios en Áreas de Centrales Nucleares (AMAC), organizó una jornada para presentar los resultados de las pruebas de resistencia

realizadas a las centrales nucleares españolas. El encuentro respondía a una recomendación del Comité Asesor para la Información y Participación Pública del CSN quien, en su reunión del 21 de mayo, solicitó al organismo regulador una conferencia pública con el fin de explicar a los ciudadanos cuáles habían sido los resultados de los exámenes a los que se sometió el parque nuclear tras el accidente sufrido en la central de Fukushima Dai-ichi (Japón).



Salón de actos del Ministerio de Industria, Energía y Turismo, donde se celebró la jornada.

Este comité, configurado según las directrices del artículo 15 de la Ley de Creación del CSN, está formado por representantes de la sociedad civil, el mundo empresarial, los sindicatos y las administraciones local, regional y estatal. Entre las funciones del comité se encuentra la de emitir recomendaciones al Consejo de Seguridad Nuclear, para garantizar y mejorar la transparencia y la de proponer al organismo regulador las medidas que incentiven el acceso a la información y la participación ciudadana en las materias en las que dispone de competencias.

El accidente ocurrido el 11 de marzo de 2011 en la central nipona marcó un antes y un después en la vida de las centrales nucleares. Tras la conmoción de un desastre que dejó cerca de 20.000 víctimas y una región completamente devastada, los organismos reguladores europeos asumieron de manera coordinada el reto de revisar cada una de sus centrales nucleares. El objetivo no era otro que comprobar si las instalaciones eran lo suficientemente robustas como para afrontar situaciones semejantes a las ocurridas en la central japonesa.

### De las pruebas de resistencia al Plan de Acción

De este modo, el Consejo Europeo celebrado el 24 de marzo de 2011 acordó realizar un programa para someter a todas las centrales nucleares europeas a un conjunto homogéneo de pruebas de resistencia (conocidas internacionalmente como *stress test*) que permitieran valorar su capacidad para soportar situaciones más allá de sus bases de diseño e identificar los márgenes de seguridad existentes frente a dichas bases, así como las potenciales medidas que se podrían implantar para mejorar su seguridad.

Los 17 países que participaron plenamente en estas pruebas de resistencia son los 14 Estados miembros de la Unión



Reunión del grupo de expertos internacionales durante la revisión *inter pares* a España.

Europea (UE) con centrales nucleares en funcionamiento, más Ucrania, Suiza y Lituania, con una central en proceso de desmantelamiento.

Las pruebas se llevaron a cabo en tres fases. En la primera, los titulares de las centrales realizaron una autoevaluación y presentaron un informe a las autoridades pertinentes. En la segunda fase, los organismos reguladores examinaron dichos informes y, de acuerdo con el calendario establecido en la Unión Europea, en diciembre de 2011 remitieron a la Comisión Europea su valoración final. Y, en la tercera y última fase, equipos de expertos de varios países analizaron los informes nacionales en un proceso de revisión *inter pares* (designados generalmente como *peer reviews*), que fue organizado por el Grupo Europeo de Reguladores de Seguridad Nuclear (ENSREG). En algunos casos, estos equipos internacionales se trasladaron al propio terreno para comprobar *in situ* la solvencia de la información aportada. En el caso español, visitaron Almaraz (Cáceres) en marzo de 2012.

Una vez concluido el proceso de las pruebas de resistencia y las correspondientes revisiones entre pares, el 1 de agosto de 2012, ENSREG aprobó el Plan de Acción de Seguimiento Post-Fukushima, que tiene por objeto comprobar el grado de implantación de las acciones de refuerzo de la seguridad establecidas, e intercambiar información sobre aquellas que están planificadas, o en estudio, en todas y cada una de las centrales nucleares de la Unión Europea.

El documento recoge las actividades que tanto los Estados miembros como el propio ENSREG pondrán en marcha con ese fin. Entre ellas destaca el programa de visitas a centrales nucleares aprobado por ENSREG, a través del cual un grupo de expertos viajó (entre finales de agosto y principios de septiembre del presente año) a distintas centrales para comprobar el estado de los trabajos. En esta ocasión, la planta española que recibió la visita del grupo internacional fue Trillo (Guadalajara).

Otra de las medidas incluidas es el desarrollo de unos planes de acción na-



Rueda de prensa en el CSN para presentar los resultados de las pruebas de resistencia de las centrales nucleares españolas.

cionales que deberán presentarse antes de finales de 2012 y que se están realizando, tal y como marca el documento, teniendo en cuenta las conclusiones de los informes nacionales sobre las pruebas de resistencia, los resultados de las revisiones *inter pares*, los de la reunión extraordinaria de la Convención sobre Seguridad Nuclear y otras actividades adicionales derivadas de revisiones o decisiones nacionales.

El plan acuerda también realizar entre febrero y marzo de 2013 una revisión de los planes de acción nacionales para promover consistencia entre las respuestas de los países y difundir las mejores prácticas para reforzar la seguridad.

### Sesiones divulgativas

Siguiendo los principios de transparencia y participación pública que han regido todo el proceso de las pruebas de resistencia, el organismo regulador español, en línea con su apuesta por reforzar la información a la población, quiso completar este proceso con una jornada pública y divulgativa. El acto contó, entre otros, con la participación de expertos in-

ternacionales altamente implicados en los exámenes de las pruebas de resistencia a nivel europeo. Hasta Madrid viajaron los responsables de los organismos reguladores británico y esloveno, Mike Weightman y Andrej Stritar, quien en una etapa anterior también asumió la presidencia del Grupo Europeo de Reguladores Nucleares (ENSREG), y el miembro de la Autoridad Reguladora Suiza y jefe de las misiones de revisión *inter pares* a España, Oskar Grözinger.

La mañana del 25 de octubre, la presidenta del Consejo, Carmen Martínez Ten y su homólogo, Mike Weightman, recibieron en el salón de actos del MINETUR a los más de 250 asistentes de los sectores interesados en la actividad del CSN. Entre otros, asistieron miembros del Parlamento, de los ministerios de Defensa y de Industria, Energía y Turismo, subdelegaciones del Gobierno, grupos ecologistas, representantes de la industria nuclear, organizaciones sociales, universidades, medios de comunicación, etc.

En su turno de palabra Martínez Ten fue contundente. Mostró su firme convencimiento de que las pruebas de resis-

tencia españolas habían sido un claro ejemplo de transparencia con una única meta: reforzar la seguridad de las centrales nucleares. A este respecto señaló que “pese a que las centrales nucleares españolas son seguras, siempre existe un margen de mejora”. Y es que, tal y como en reiteradas ocasiones pudimos escuchar a lo largo de la jornada, en materia de seguridad nuclear, no hay lugar para la autocomplacencia.

A este respecto, y en línea con la presidenta, Weightman añadió: “Nuestra filosofía debe ser la de una mejora continua, basada en la solvencia técnica y en la transparencia como sus mejores aliados”. El británico apuntó como una de las lecciones aprendidas tras el accidente de Fukushima Dai-ichi la importancia de la independencia de los organismos reguladores.

El programa, en el que participaban 17 ponentes, estuvo organizado en base a dos sesiones: “Evaluación de la seguridad en las centrales nucleares europeas” y “Presentación de las pruebas de resistencia realizadas a las centrales nucleares españolas”, tras las cuales se celebró



Carmen Martínez Ten y Mike Weightman inauguraron la jornada.

un panel de debate sobre “Credibilidad: diálogo y participación”.

El primer bloque, moderado por la consejera del CSN Rosario Velasco, contó con la ponencia del vicepresidente del Plenario de Coordinación Europeo y consejero del CSN, Antoni Gurguí, que supervisó el proceso de revisión interpa-

res, y que explicó con todo lujo de detalles el proceso de revisión al que se sometieron alrededor de 150 reactores de 17 países. Un proceso que ha identificado diversas medidas que requerirán importantes inversiones, por parte de las centrales nucleares, en materia de seguridad frente a posibles acontecimientos

que exceden los previstos en las bases de diseño.

En esta primera sesión, Andrej Stritar tomó también la palabra para presentar las principales conclusiones sobre los resultados definitivos de las pruebas de resistencia realizadas a los reactores europeos, así como el Plan de Acción. El esloveno puso de manifiesto como las *peer reviews* han demostrado la importancia de las revisiones periódicas de la seguridad que se hacen regularmente en los países europeos y especialmente en España. Además, en línea con el planteamiento de Martínez Ten, dejó claro a los asistentes que la no autocomplacencia y la mejora continua son los requisitos previos para una buena cultura de seguridad.

El también consejero del CSN, Fernando Castelló, fue el encargado de moderar la segunda sesión, dedicada a la presentación de las pruebas realizadas al parque nuclear español. Este último bloque contó con el subdirector de Ingeniería del Consejo, Antonio Munuera, quien explicó a los asistentes el proceso de revisión llevado a cabo. Por su parte,



Antoni Gurguí (en el atril), Rosario Velasco y Andrej Stritar, durante la primera sesión.

la directora técnica de Seguridad Nuclear, Isabel Mellado, expuso las principales conclusiones de las pruebas de resistencia y fue desgranando una a una las debilidades y fortalezas apuntadas tras la revisión inter pares del informe español en materia de sucesos externos, pérdidas de funciones de seguridad, y gestión de accidentes severos.

En cuanto al siguiente escenario a tener en cuenta, Mellado explicó que cada país está preparando un Plan de Acción que debe ser remitido a ENSREG y a la Unión Europea antes del 31 de diciembre de 2012. Estos planes serán revisados por los demás organismos reguladores europeos y, en marzo de 2013, se discutirán en un seminario del que pueden surgir nuevas recomendaciones y sugerencias.

### **Credibilidad, diálogo y participación**

La última parte de la jornada estuvo dedicada a un panel sobre “Credibilidad: diálogo y participación”, moderado por la periodista de RTVE, Alicia G. Montano, y en el que participaron seis miembros del Comité Asesor para la Información y Participación Pública del CSN. La



Mesa de la segunda sesión con Isabel Mellado, Fernando Castelló y Antonio Munuera.

mesa de debate permitió exponer experiencias, problemáticas e inquietudes muy diferentes sobre una misma realidad. Durante la discusión tomaron la palabra el subdirector general de Energía Nuclear, Javier Arana; el presidente de la Asociación Española de la Industria Eléctrica (Unesa), Eduardo Montes; el alcal-

de de Yebra (Guadalajara), Juan Pedro Sánchez; el coordinador de Energía de Ecologistas en Acción, Francisco Castejón; un representante de la Secretaría de Energía de la Federación de Industria de Comisiones Obreras, Luis Jodra, y el presidente de la Asociación Española de Comunicación Científica, Antonio Calvo.



Panel moderado por Alicia G. Montano con seis miembros del Comité Asesor para la Información y Participación Pública del CSN.



Antonio Colino y Oskar Grözinger, durante la sesión de clausura de la jornada.

Tras el enriquecedor debate, y con sed de un nuevo encuentro en el que seguir dialogando sobre estas posturas encontradas, el vicepresidente del CSN, Antonio Coli-

no, y el miembro del *board* de la Autoridad Reguladora Suiza, y jefe de las misiones de revisión inter pares a España, Oskar Grözinger, dieron por finalizada la jornada.

## Conclusiones de las pruebas de resistencia españolas

- ▶ El proceso ha seguido las especificaciones acordadas en ENSREG y los resultados son similares a los de otras centrales europeas.
- ▶ No se identificaron debilidades relevantes que requirieran la adopción de medidas correctoras inmediatas.
- ▶ Las centrales cumplen con las bases de diseño y de licencia. El CSN lo verifica mediante su proceso habitual de supervisión y control, y las revisiones periódicas de seguridad.
- ▶ Se ha comprobado la existencia de márgenes para el mantenimiento de las condiciones de seguridad más allá de los supuestos considerados en el diseño.
- ▶ Mejoras identificadas por los titulares y acciones adicionales requeridas por el CSN, que se implantarán en un proceso escalonado:
  - ▶ Corto plazo: antes de fin 2012.
  - ▶ Medio plazo: entre 2013 y 2014.
  - ▶ Largo plazo: entre 2015 y 2016.
- ▶ Todas las medidas se recogen en las Instrucciones Técnicas Complementarias emitidas por el CSN a cada central el 14 de marzo de 2012. ▶

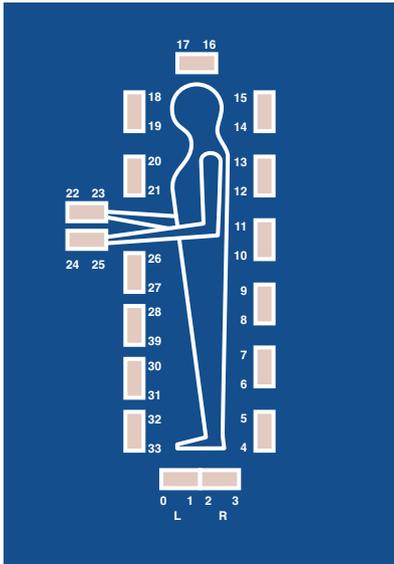
En línea con la citada postura de rechazo a la autocomplacencia que se mantuvo a lo largo del encuentro, y tras exponer las principales conclusiones de su trabajo al frente de los equipos de inspección que visitaron España, Grözinger reiteró que, pese a que en España se está bien preparado, se implementarán una serie de medidas para reforzar los márgenes de seguridad de las centrales nucleares. Además, animó a sus colegas a continuar trabajando en aras de una buena cultura de seguridad con transparencia y apertura a la sociedad.

En su intervención, el vicepresidente del CSN quiso reconocer el esfuerzo llevado a cabo en el último año y medio desde que ocurriera el accidente, el trabajo realizado por los titulares, los organismos reguladores y autoridades de la Unión Europea. “Ha sido un trabajo intenso y productivo en aras de un solo objetivo: reevaluar la seguridad nuclear y adoptar cuantas medidas de refuerzo fueren necesarias, con el convencimiento de que las pruebas de resistencia han sido ejemplo de colaboración, profesionalidad y de transparencia”, señaló.

Han sido 18 intensos meses de trabajo hasta comprobar el estado de más de 150 reactores (132 en la Unión Europea, más 15 de Ucrania y cinco de Suiza) y hasta que la Comisión Europea ha podido afirmar públicamente que “las pruebas de resistencia de las centrales nucleares confirman el nivel elevado de las normas de seguridad, aunque hacen falta mejoras”. Y es que, como ya bien saben, en materia de seguridad nuclear no hay lugar para la autocomplacencia. ©

*Los informes finales de las pruebas de resistencia de las centrales nucleares europeas, los informes de cada país, así como el Plan de Acción de ENSREG y los futuros planes de acción nacionales, pueden ser consultados en la web [www.ensreg.eu](http://www.ensreg.eu)*

› María del Vigo Fernández,  
Área de Comunicación  
del CSN



# Controles radiológicos a los trabajadores de las centrales

En las centrales nucleares existen múltiples controles de acceso y salida que afectan tanto a los trabajadores como a los visitantes y que se aplican en función de la zona a la que se necesite acceder y de la función que se vaya a desempeñar.

Los trabajadores se clasifican en función de las previsiones radiológicas en las que van a desarrollar su trabajo, pero todos deben cumplir tres requisitos: contar con la formación adecuada, ir provistos de control dosimétrico interno y externo y haber superado un examen médico que certifique que es apto para trabajar en entornos radiológicos. Los trabajadores expuestos son aquellos que están sometidos a una exposición que

podiera entrañar una dosis superior a alguno de los límites establecidos para el público, y se dividen a su vez en categoría A y B, siendo los primeros los que, por las condiciones en las que realizan su trabajo, pueden recibir una dosis efectiva superior.

Todo trabajador, externo o no, debe realizar un curso de formación en protección radiológica, específico para cada planta, que tiene una validez de un año. Antes de entrar en la planta, el trabajador se somete a un control de detección de contaminación interna cuyos resultados se cotejarán posteriormente con los del control de salida. Para acceder a una zona radiológica, el trabajador debe ir provisto de dos dosímetros,

## Sistemas de seguridad en centrales nucleares

Las distintas zonas de las centrales nucleares, en términos de potencial irradiación o contaminación radiológica, están convenientemente delimitadas, señalizadas y controladas para garantizar, por un lado, que la contaminación no traspasa la zona restringida y, por otro, que los trabajadores adecúan su vestuario y medidas de protección al entorno en el que van a desempeñar su labor.



DR: Tasa de dosis  
SC: Contaminación de superficie  
AC: Contaminación en el aire

\* Excepcionalmente, en las zonas donde la restricción de acceso no es eficiente, se pueden permitir mayores tasas, siempre que la tasa de dosis sea siempre inferior a 2,5 μSv/h. Sin embargo, estas áreas se someterán a un control administrativo radiológico

## Clasificación de las áreas en una central en función del riesgo radiológico

|    | Acceso libre | Zona vigilada         | Zona controlada         |                         |                         |                         |
|----|--------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| DR | < 0,5 μSv/h* | < 3 μSv/h y           | < 25 μSv/h y            | < 1 mSv/h y             | < 100 mSv/h y           | > 100 mSv/h o           |
| SC |              | < 0,4 Bq/cm² β/γ      | < 4 Bq/cm² β/γ          | < 40 Bq/cm² β/γ         | < 400 Bq/cm² β/γ        | > 400 Bq/cm² β/γ        |
|    |              | Promediada en 300 cm² | Promediada en 300 cm² y |
| AC |              |                       | < 0,1 DAC               | < 1 DAC                 | < 10 DAC                | > 10 DAC                |

Fuente: Consejo de Seguridad Nuclear

uno cuyo procesado se realiza mensualmente y otro de lectura directa, que permite conocer en tiempo real la dosis recibida en la realización de una determinada tarea. Los resultados de ambos dosímetros deben incluirse en el carné radiológico del trabajador, de forma que el control a largo plazo sea igualmente exhaustivo.

A grandes rasgos, una central nuclear está compuesta por edificios que albergan sistemas radiactivos y por otros edificios convencionales, muy diferentes unos de otros en funcionalidad y, por tanto, también en nivel de riesgo de exposición. Así, en términos de protección radiológica, podemos encontrar zonas de libre acceso, zonas vigiladas y zonas controladas. A su vez, las zonas controladas pueden ser de cuatro tipos diferentes: de permanencia libre, de permanencia limitada, de permanencia reglamentada y de acceso prohibido.

Tanto en la zona de permanencia limitada como en la reglamentada se establece un tiempo máximo de presencia y se requiere un permiso de trabajo con radiaciones que evalúe los riesgos y las protecciones requeridas. Ambas restricciones son fijadas por el Servicio de Protección Radiológica de la central, en función de las tareas que se vayan a desempeñar.

Por último, para entrar en una zona de acceso prohibido se requiere un permiso específico, esta vez autorizado por el jefe del Servicio de Protección Radiológica de la planta, y por el jefe de la misma. Son áreas cerradas bajo llave, que generalmente están bajo control administrativo.

Las zonas con distinto tipo de riesgo radiológico están señalizadas con un trébol de diferente color según la tasa de dosis y con puntas radiales o puntos, dependiendo de si el riesgo es de irradiación o de contaminación. Entre estas zo-

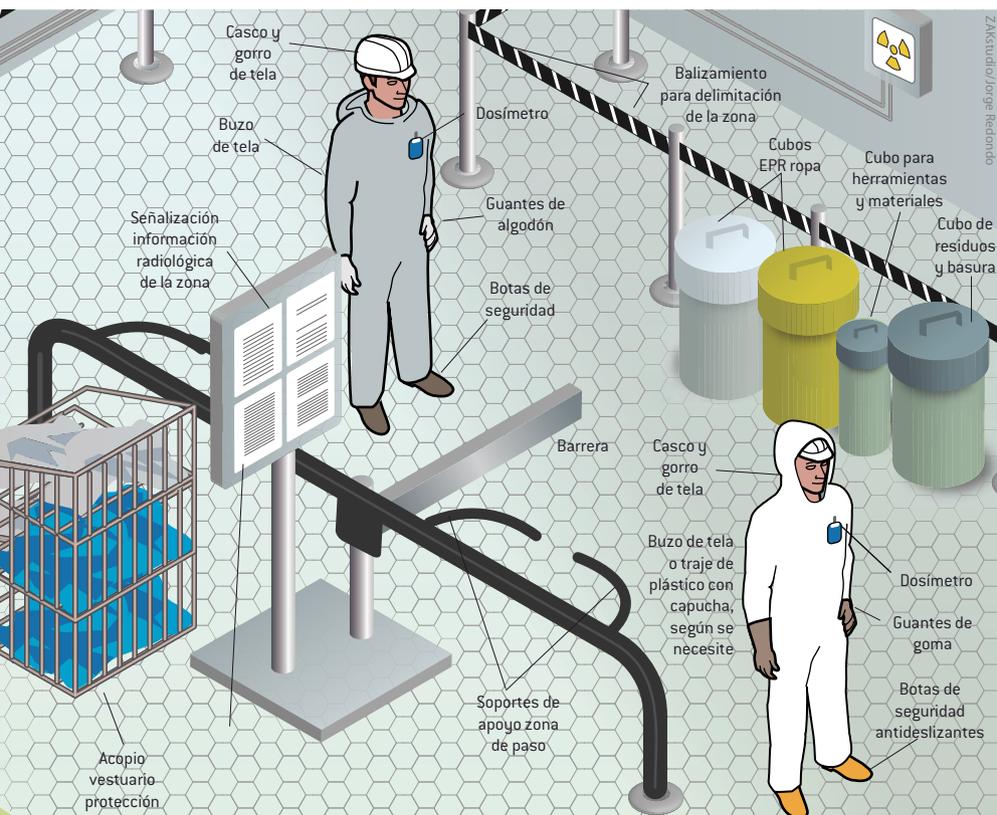
nas existen otras de paso, provistas de recipientes para recoger y separar los materiales de protección necesarios en cada caso.

La protección básica para trabajar en zona radiológica consta de mono, cubrecabeza, guantes de algodón y zapatos de seguridad. En caso de necesitar acceder a zonas de mayor riesgo, o de un riesgo diferente (en agua, por ejemplo) puede ser necesario que el trabajador lleve otros elementos de protección, como buzos impermeables, guantes de caucho, plástico o látex y botas de agua o cubrecalzas.

Además, para evitar que cualquier tipo de contaminación traspase las fronteras de la zona controlada, antes de salir de esta el trabajador debe someterse a una serie de controles de detección: los pórticos de contaminación superficial verifican que esta no es superior a los niveles de referencia establecidos en el Manual de Protección Radiológica para la piel, el vestuario o las herramientas. En caso de que se detecte un nivel excesivo, se le retira al trabajador su vestuario para ser lavado y descontaminado, debiendo pasar nuevamente por el detector. Si el resultado siguiera siendo positivo, pasaría a la zona de lavabos y duchas activas para su descontaminación.

Por último, el trabajador entrega el dosímetro de lectura directa en el Servicio de Protección Radiológica y se somete a las pruebas de detección de contaminación interna.

Si los niveles detectados a la salida de la planta son superiores a los de entrada, el servicio médico de la instalación deberá establecer el mecanismo de descontaminación más adecuado o, en caso de que esta no fuera posible, anotar la dosis recibida en el carné radiológico del trabajador, para evitar que éste sobrepase la dosis anual establecida por la ley.



› Ignacio F. Bayo  
Periodista científico,  
director de Divulga

Carmen Martínez Ten (Madrid, 1953) se licenció en Medicina y Cirugía en la Universidad Complutense de Madrid y se especializó en Ginecología. Durante varios años trabajó en la sanidad pública. Ingresó como Técnica Superior de la Administración Local y desempeñó diferentes cargos de gestión sanitaria y responsabilidad política. En 1988 fue nombrada directora general del Instituto de la Mujer, dependiente del Ministerio de Asuntos Sociales, y en 1991 entró como asesora en el Gabinete del ministro de Sanidad y Consumo. También fue diputada en la Asamblea de Madrid. En 1995, el entonces presidente del Consejo de Seguridad Nuclear, Juan Manuel Kindelán, la puso al frente de su Gabinete. En 2001 fue nombrada consejera de este organismo y en diciembre de 2006 se hizo cargo de la presidencia del mismo.

## “El CSN necesita garantizar el relevo generacional para no perder el conocimiento técnico acumulado”

**A**ntes de que expire su mandato al frente del Consejo de Seguridad Nuclear, a Carmen Martínez Ten se la ve relajada en su despacho, como saboreando anticipadamente la entrega del testigo, y la responsabilidad que el cargo conlleva, a su sucesor. *Alfa* ha querido recoger un retazo de las vivencias acumuladas a lo largo de sus 18 años en el organismo, siempre en cargos de responsabilidad. Una experiencia que califica de enriquecedora y que intentará transmitir a quien la sustituya, porque, como ella misma dice, las instituciones tienen vida y cultura propias, y es conveniente seguir la trayectoria anterior, adaptándola, claro está, a un entorno siempre cambiante. Y muestra de ese espíritu de continuidad, entre las fotos que acompañan su ambiente de trabajo destaca la que se hicieron, en 2010, los cinco primeros presidentes del CSN con ocasión del 30 aniversario de su constitución.

**PREGUNTA:** ¿Qué papel cumplen los organismos reguladores?

**RESPUESTA:** Yo creo que sirven para vigilar los riesgos que afectan a la sociedad, tanto económicos como de aplicaciones tecnológicas, donde tiene que haber una supervisión eficaz que minimice esos riesgos. Son un contrapeso, una garantía para la ciudadanía, frente a los actores del mercado y ante aquellas actividades que puedan suponer daños para las personas, para el medio ambiente y para los trabajadores

que las utilizan. Creo que el siglo XXI necesitará más regulación y más global.

**P:** ¿Esta regulación no ganaría en independencia si fuera supranacional?

**R:** Ese es un camino costoso y difícil. Deberíamos ir hacia una armonización internacional de la regulación, y en el caso de la energía nuclear se están dando pasos para unificar criterios bajo el paraguas de la Unión Europea y del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). La diferencia entre ambas es que la legislación de Naciones Unidas y del OIEA es lo que yo llamo *derecho blando*, porque no tiene capacidad de sancionar, mientras que la normativa europea, transformada en directivas, puede aplicar sanciones. Pero hay que tener en cuenta que el control de las instalaciones en campo exige que haya reguladores nacionales que atiendan a los programas de inspección, al licenciamiento de instalaciones, al control radiológico en las fronteras y a la protección de los trabajadores, que en nuestro país son más de 100.000.

**P:** Coordinación más que centralización, pues.

**R:** Por supuesto que tiene que haber organismos nacionales, pero que cumplan las normas comunes en el ámbito de la Unión Europea para todos los países que tienen un programa de energía nuclear o los que utilizan las radiaciones en los campos médicos o industriales.



## “Fukushima nos tiene que enseñar a ser humildes”

**P:** ¿Cuál ha sido el peor momento de su mandato?

**R:** Fukushima para mí fue el momento más duro. Tarde un año en poder dejar de pensar en ello. Hemos aprendido mucho de Fukushima: que Japón no tenía un regulador independiente, cosa que puso de manifiesto la Misión IRRS que se realizó en su día; que tenía un emplazamiento que es probablemente el peor del mundo, ya que está encima de una falla, con los diésel prácticamente a nivel del mar y una barrera contra *tsunamis* que no llegaba a los cinco metros. También nos ha enseñado que nos estábamos defendiendo de los problemas que venían de dentro, como en Three Mile Island y Chernóbil, que fueron errores internos de las centrales, pero en Fukushima el problema vino de un evento externo, lo que exige una aproximación distinta a la regulación nuclear sobre todo en los ámbitos de emergencias y accidentes severos.

**P:** ¿Tiene ya Japón un regulador independiente?

**R:** El tema del regulador es muy importante. No puede ser que la industria, el Gobierno y el controlador sean un mismo bloque. Ahora han nombrado ya un regulador independiente, semejante a la NRC de Estados Unidos, la ASN francesa y el CSN español, con cinco comisionados. Entre ellos una mujer.

**P:** Las enseñanzas se están empezando a aplicar.

**R:** Ahora aprobaremos el Plan de Acción que se remitirá a Bruselas. En él, están las medidas y acciones resultado de los *stress tests* realizados tras el accidente de Fukushima y los plazos para cumplirlas. El Plan finaliza en 2016, e incluye importantes mejoras, como la construcción de un Centro de Apoyo que garantizaría la autonomía eléctrica de las centrales durante 72 horas. Todas las medidas están explicadas en la web del CSN.



**P:** También ha supuesto un golpe duro para la industria nuclear.

**R:** Fukushima nos tiene que enseñar a ser humildes, porque el espejismo de que un accidente nuclear era imposible se ha demostrado falso. Eso afecta a la industria, a los reguladores, al Gobierno y a la sociedad. El ser humano ha domesticado la energía nuclear y las radiaciones pero es responsable de usarlas con seguridad y sin riesgos para los trabajadores, las personas y el medio ambiente. Ninguna tecnología está exenta absolutamente de riesgos pero estos deben disminuirse tanto como sea posible. ©

**P:** ¿Corren peligro de desaparición los organismos reguladores?

**R:** En España hay un proyecto para unificar algunos reguladores sectoriales bajo un gran regulador. Yo creo que el Consejo de Seguridad Nuclear no es mezclable con ningún otro regulador, que su función es muy específica y que está muy especializado. Pienso que es una herramienta muy útil para el país y que dentro de todo sale muy barata porque está asumiendo

cada vez más funciones con la misma gente, e incluso con menos, porque llevamos tiempo con la plantilla congelada.

**P:** Usted ha sido jefa de Gabinete, consejera y presidenta, así que lleva muchos años en el Consejo. ¿Cómo ve el organismo?

**R:** Va a hacer 18 años. Media vida profesional. En este tiempo he visto cómo el Consejo ha ido cambiando y adaptándose a los tiempos y creo que es un orga-

nismo que ha conservado la esencia de la misión que le fue encomendada en 1980, en un momento en que la regulación era una exigencia internacional tras el accidente de Three Mile Island, y cómo ha ido adquiriendo competencias, abriéndose al espacio internacional y reforzando también los contactos con lo que podríamos llamar la sociedad y los grupos de interés.

**P:** ¿Qué cambios destacaría?

**R:** Siendo un organismo pequeño, porque no llega a 500 trabajadores, hemos podido hacer algunos avances legislativos importantes. Tenemos una pirámide normativa que en el vértice tiene la Ley de Energía Nuclear, la de Creación del Consejo y luego los decretos que nos permiten regular el riesgo nuclear o radiológico, como el Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas, el Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes, el de Protección Física... Este marco regulador es muy importante porque toda nuestra actividad está procedimentada. Tenemos procedimientos bien establecidos para los transportes, los licenciamientos, la gestión de residuos... Hay un escalón en el cual tenemos que seguir avanzando para trasponer la normativa técnica internacional a normativa técnica propia. En eso hemos avanzado mucho, sobre todo en los dos últimos años, con más de 20 instrucciones del Consejo, que son obligatorias. Y que son la traducción a la legislación española de normas que deben aplicarse a partir de la tecnología extranjera y también de los preceptos de la Unión Europea.

**P:** Otra vez la internacionalización...

**R:** Es que es muy importante para que los reguladores no sean secuestrados por los sectores regulados. Si tú estás en el mundo compartes el conocimiento, y si tienes un problema genérico en una central sabes que también ocurre, o ha ocurrido, en otros sitios y es más fácil encontrar soluciones; te sientes mucho más arropado y fuerte que si solo te dedicas a ver lo tuyo. Es fundamental que tengamos conocimiento internacional, que técnicos del Consejo hayan estado en Japón después de Fukushima, que nuestros técnicos conozcan Chernóbil muy bien, que Isabel Mellado (directora de Seguridad Nuclear del CSN) presida uno de los grupos de la Convención Internacional sobre Seguridad Nuclear, que Juan Carlos Lentijo (hasta hace unos meses director de Protección Radiológica del CSN) sea un alto cargo en el OIEA, que Antonio Munuera (subdirector de Inge-

nería del CSN) haya inspeccionado las centrales francesas, que nos pidan gente para las misiones internacionales... Todo esto demuestra la calidad de nuestros técnicos y además garantiza que vuelvan a casa con los conocimientos más avanzados.

**P:** Normativa e internacionalización avala el trabajo del Consejo.

**R:** Es que hay otro aspecto en el que el Consejo ha avanzado. Primero, la normativa, completar el diseño normativo español; después, la internacionalización del conocimiento; y por último, el contacto con los grupos de interés. El Consejo existe más que nada para que la ciudadanía pueda estar tranquila. Esa es nuestra razón de ser, que sepa que hay un organismo que vela por su seguridad, y para eso tenemos que saber atender qué es lo que le preocupa a la gente y qué es lo que necesita. Por eso, publicar las actas de inspección, las del Pleno, disponer de una web accesible, haber constituido el Comité Asesor, atender las denuncias de los trabajadores, las reuniones con los comités de empresa, con los alcaldes, con las comunidades autónomas, con los técnicos de las centrales... Eso sirve para entender qué es lo que le pasa a la gente y los problemas que tiene. Y todo eso forma parte de nuestro cometido.

**P:** Dice que se trata de que los ciudadanos puedan dormir tranquilos. ¿Pueden hacerlo?

**R:** Lo he explicado en el Congreso. Pueden dormir tranquilos. He ido al Parlamento para contar muchas cosas, Fukushima, los *stress test*, Garoña... Pero lo más importante que tenía que decir es que en los dos últimos años no ha pasado nada, que las centrales han funcionado bien, que hemos tenido algunos incidentes de categoría 1, que no ha habido accidentes ni trabajadores afectados; que todas las instalaciones han funcionado con normalidad, y eso es el resultado del trabajo de mucha gente, no solo del Pleno. Y he pedido al Congreso que ayuden al organismo a trabajar bien y que no nos disminuyan el número de inspectores.

**P:** ¿Por qué no hubo comparecencia el año pasado? Se ha especulado con motivos políticos.

Cada año comparezco ante la Comisión de Industria y suelo hacerlo en diciembre. El año pasado no



“La colaboración internacional es muy importante para que los reguladores no sean secuestrados por el sector”



pude hacerlo porque hubo elecciones justo en ese momento. No hay más razones.

**P:** *De forma resumida, ¿cuáles son las fortalezas y las debilidades del Consejo?*

**R:** Yo creo que la gran fortaleza es el conocimiento técnico y el sistema de trabajo. Acumulamos un enorme conocimiento, porque aquí hay gente que licenció en su día las instalaciones y las ha seguido a lo largo de su vida y conoce muy bien las plantas. Es un organismo que ha demostrado su independencia y que espero que la siga demostrando. El Consejo debe ser independiente del Gobierno y, sobre todo, de los sectores

sobre los que desarrolla sus funciones de regulador. Pero no debe serlo del Parlamento, porque no hay independencia absoluta, ni siquiera la de los técnicos. Los organismos reguladores forman un sistema de contrapeso a los diferentes intereses que no son sólo de las empresas eléctricas, también de colectivos en el sector sanitario, de las organizaciones ecologistas, de las empresas que venden rayos X, etc. Creo, en este sentido, que el CSN es independiente.

**P:** *¿Le ha costado ser independiente?*

**R:** Siempre cuesta, pero es el papel de un regulador. Si los regulados están siempre contentísimos, algo estás haciendo mal. Siempre hay un debate tenso ahí y es normal que lo haya. Luego, como otros organismos, el Consejo tiene riesgos de politización en el mal sentido, pero creo que en la medida de lo posible los hemos salvado. Hemos votado siempre juntos en mi periodo, salvo en dos o tres ocasiones, que siempre pueden buscarse en las actas.

**P:** *¿Eso es fruto de una voluntad suya de intentar llegar siempre a ese consenso?*

**R:** No, es fruto de la voluntad de todos. El presidente debe ayudar al consenso y Juan Manuel Kindelán me dijo una vez, “el plus que le pagan a un presidente en el Consejo de Seguridad Nuclear es por llegar a consensos”. Él lo hizo siempre así, y yo quería hacerlo también, pero no habría sido posible sin la ayuda de todos los consejeros. Ellos me han ayudado mucho; no todos de la misma manera, pero todos lo han hecho. Eso es así, y para mí es un motivo de orgullo haber conseguido ese consenso.

**P:** *Y las veces que no ha habido consenso, ¿fue por presiones externas, políticas, económicas...?*

**R:** Han sido de muchos tipos. Yo he gobernado la crisis, cinco años en crisis y aunque el Consejo tiene suficiencia presupuestaria, los funcionarios de la casa han perdido, como todos, capacidad adquisitiva durante mi periodo, hay congelación de personal y a veces eso tensa la situación, pero estoy orgullosa porque al finalizar el mandato el Consejo mantiene sus competencias y su estructura. Lo dejo con todas sus capacidades y con más funciones que las que tenía.

**P:** *Me decía que llevan varios años con restricción de personal. ¿Eso puede tener repercusiones?*

**R:** Sí, porque hay áreas que están muy sobrecargadas y además, como pasa en muchos sitios, aquí tenemos un tipo de organización que hay que revisar, que es matricial, con especialistas. Es decir, los hay que saben muchísimo de una cosa, por ejemplo de materiales, pero si falla ese especialista y no pasa su conocimiento al siguiente se pierde. Hemos hecho ya un trabajo de gestión del conocimiento y un programa de formación muy intenso de gestión por competencias que hay que estudiar el sistema de organización interno y adaptarlo, teniendo en cuenta el mayor peso de la gestión de residuos y el desmantelamiento de instalaciones.

**P:** *Eso será ya competencia de su sucesor o sucesora.*

**R:** Sí, ahora le toca al siguiente defender y mejorar al regulador en todas sus facetas: en I+D, en información y transparencia, en conocimiento en los tres pilares, seguridad nuclear, protección radiológica y ahora residuos. El ATC es el proyecto nuclear más importante que el país tiene por delante y se tiene que hacer con todas las garantías de que va a ser una instalación modélica y para eso necesitamos reforzar el área de residuos.

**P:** *¿Lo ve como una tercera dirección técnica?*

**R:** Protección Radiológica tiene mucha tarea porque debe atender miles de instalaciones. Me ha tocado vivir cómo ha crecido el parque de instalaciones radiactivas, tenemos ¡34.000 instalaciones! y 106.840 trabajadores con licencia. Habrá que reforzar el área de residuos ahora con el ATC. No sé si como una tercera dirección técnica. Hay que verlo. Los consejeros hemos pensado sobre esto pero como hemos pasado esta época de escasez no ha habido ocasión de plantearlo. Según el Estatuto tenemos las competencias

“Entrego el Consejo con todas sus capacidades intactas y con más funciones que las que tenía”



para aprobar una estructura interna, pero en este momento no podemos incrementar el gasto de personal. Ahora hay que repensar la estructura técnica; habrá que analizar y redistribuir, porque podemos ser más eficientes en la organización.

**P:** *¿Esas son las debilidades?*

**R:** Sí, que necesitamos más personal, no más dinero sino más gente. Se han hecho 4.200 inspecciones en dos años. Aunque tengamos una estructura fuerte hay que conservarla cubriendo todas las funciones. Y otra cosa que me preocupa es que tenemos muchos convenios que atender, porque tenemos que asesorar a la Administración, a la Unidad Militar de Emergencias, trabajamos con Interior, con Sanidad, con la Policía, la Guardia Civil, Aduanas, Aviación Civil...

**P:** *Hay que cubrir las bajas por jubilación al menos, ¿no?*

**R:** Es necesario garantizar que haya un relevo generacional entre las personas. La media de edad del Consejo es elevada y es importante hacer bien ese solape entre personal que se jubila y jóvenes, para no perder el conocimiento.

**P:** *Sobre la independencia del CSN, ¿alguna vez ha sentido personalmente amenazada esa independencia?*

**R:** He recibido llamadas, pero no he hecho caso, nunca. Creo que cuando estás en un organismo regulador tienes que tomar decisiones con los informes técnicos, con la experiencia internacional, con la opinión

de los expertos y hay que escuchar, escuchar mucho. Lo que no puede un presidente, ni un consejero, es pasar por encima, tiene que entrar en los expedientes, en los entresijos, en las innovaciones, las condiciones que impone el Consejo para la seguridad, saber qué es fundamental en un condicionado, qué cosas no se pueden dejar de lado, con estos elementos se toman las decisiones en el marco del sistema regulador que tenemos.

**P:** *¿Las decisiones son siempre técnicas o pesan también otros componentes?*

**R:** Claro que tienes que integrar otras cuestiones, como los elementos jurídicos. Nosotros somos aplicadores de las normas; tenemos que trabajar con los informes técnicos y con la legislación vigente, tanto nacional como internacional.

**P:** *¿Se producen situaciones en las que se detectan lagunas legislativas?*

**R:** Tengo que decir que durante mi periodo he tenido una secretaria general muy competente. Purificación Gutiérrez es una jurista con experiencia, porque el ángulo jurídico en la regulación es central, la regulación es normativa.

**P:** *Hay poca improvisación, vamos...*

**R:** Creo que sí. Los informes se piden con mucha antelación, por eso con Garoña no dimos la ampliación del permiso de prórroga, porque nosotros necesitamos un tiempo para evaluar la situación de las plantas. Hemos desmantelado Zorita y Vandellós I, y

tenemos experiencia y normativa para hacer el de Garoña.

**P:** *¿Tenía algún objetivo personal concreto al asumir la presidencia?*

**R:** Hacer que el Consejo fuera un poco mejor. Esa foto de los cinco presidentes para mí es especial porque cada uno ha hecho un tramo y ha contribuido a que el CSN sea como es hoy.

**P:** *Solo ha tenido que seguir el camino marcado.*

**R:** Yo no venía con ideas revolucionarias, creo en la institucionalidad, que los instrumentos de los que se ha dotado el país hay que cuidarlos y respetarlos. Los organismos acumulan experiencia, tienen su propia cultura, con su normativa, su complejidad, su sistema de sanciones... No aparece de la noche a la mañana.

**P:** *Pero a veces hay que enderezar el rumbo, ¿no?*

**R:** Yo tengo la sensación de que he contribuido a adaptar el Consejo a los tiempos, ese es mi logro. No es el mismo que había hace seis años y he trabajado para mejorarlo y adaptarlo a la realidad y que al finalizar mi mandato fuera un organismo más

capaz. Creo que hemos avanzado en internacionalización y participación pública.

**P:** *Usted ha vivido algunos momentos importantes en la historia del Consejo.*

**R:** Me alegro mucho del resultado de esa Misión IRRS internacional. Que vengan expertos internacionales y nos digan que lo estamos haciendo bien y que nos hagan recomendaciones útiles es muy positivo. Y lo mismo ha ocurrido con la revisión de las pruebas de estrés.

**P:** *Garoña abrió la puerta a ampliar el plazo de 40 años.*

**R:** Las centrales nucleares pueden ser muy inseguras con 15 años, o muy seguras con 44, la prueba es que todas las centrales del modelo Vandellós I, que eran de grafito gas, están cerradas, ninguna ha llegado a los 30 años, en cambio hay centrales americanas muy bien mantenidas y cuidadas y han llegado a los 45 o más, con licencia para operar hasta los 60. Para mí, es más un tema de calidad que de cantidad. Depende de los diseños, de los equipos, del factor humano, de la historia operativa de la

planta... A Garoña, sin hacer todas las mejoras que les pedíamos, del sistema eléctrico, el recombinador de gases, el venteo filtrado y todo lo que se ha derivado de Fukushima no la licenciaríamos.

**P:** *Por las mismas, si cumplen las normas...*

**R:** Dependerá de lo que decida el Gobierno, el Parlamento, los ciudadanos. Nosotros somos los que podemos decir si es segura o no la instalación y qué condiciones debe cumplir para operar, y las modificaciones o mejoras que debe implantar. En algunos casos se puede decir que no, haga lo que haga, como en el caso de Zorita, porque era un prototipo; no hay ninguna central como Zorita en el mundo, no hay central de referencia, no se habría licenciado. Garoña sí tiene centrales de referencia, pero por una serie de razones confluyentes, entre ellas, las inversiones por seguridad, no continuará operando.

**P:** *¿Ese tema está ya cerrado?*

**R:** Completamente cerrado. Ha habido un tira y afloja pero ya está cerrado.

**P:** *La fuga de partículas de Ascó.*

**R:** Fue el segundo peor momento de este periodo, después de Fukushima. Fue un incidente sobrevenido del que la central no informó como debía y que nos causó muchos problemas. Recogimos cada partícula de cobalto que estaba fuera del emplazamiento, las contamos, medimos, recibimos una misión de la Unión Europea para garantizar que se había protegido a la población y al medio ambiente y que dijo que el Consejo había hecho todo lo que se tenía que hacer, se cambió la cúpula de una empresa por el incidente y a partir de eso hicimos una revisión de todas las centrales para ver si había contaminación en los emplazamientos y pusimos en marcha un plan de mejora de Ascó que se llama Plan Procura y que está finalizando.

**P:** *Personalmente ¿qué le ha supuesto esta responsabilidad?*

**R:** Le escribí una carta el otro día a Juan Carlos Lentijo, un poco sentimental, y le decía que yo he recibido del Consejo mucho más de lo que he dado, me ha llenado profesionalmente porque es un trabajo fascinante, nunca aburrido, aunque he vivido momentos muy duros. Y me he sentido apoyada siempre por los equipos, que han trabajado conmigo: se trata de una organización que responde, que siempre ha respondido. Por todo eso estoy muy agradecida.



“El Consejo me ha enseñado mucho; ha sido un trabajo fascinante, aunque he vivido momentos muy duros”



STOCKXCHING

› Isabel Mellado Jiménez,  
directora técnica de  
Seguridad Nuclear del CSN

# Seguimiento de los resultados de las pruebas de resistencia de las centrales nucleares europeas y plan de acción

En su reunión del 24 y 25 de marzo de 2011, pocos días después del accidente de Fukushima, el Consejo Europeo acordó que ENSREG (European Nuclear Safety Regulator Group) y la Comisión Europea llevaran a cabo una reevaluación de la seguridad de las centrales nucleares europeas, a la luz del accidente ocurrido en la central japonesa. Esta reevaluación, que se ha conocido también como pruebas de resistencia o *stress test*, ha sido objeto de amplia información en números anteriores de esta revista<sup>1</sup>, así como el proceso de revisión inter pares o *peer-review*<sup>2</sup> a que se sometieron los informes y actuaciones llevados a cabo por cada uno de los países como resultado de dicha reevaluación.

Los resultados de esas reevaluaciones han dado lugar a la identificación de los márgenes de seguridad de que disponen las centrales y también han identificado mejoras para reforzar su capacidad de respuesta ante situaciones que, aunque altamente improbables, pueden tener un impacto muy significativo para la población. El Consejo Europeo, en su reunión de junio de 2012, invitó a los Estados miembros a asegurar que las recomendaciones resultantes de las pruebas de resistencia se implantan en su totalidad y en plazos de tiempo adecuados, para lo que ENSREG y la Comisión acordaron establecer un plan de acción mediante el que se realizará el seguimiento de la forma en que se llevan a cabo las medidas previstas, asegurando un enfoque y un alcance similar en todos los países. Además, este plan de acción, tal como se expresa en el documento aprobado, tiene la vocación de promover el papel de Europa como impulsor de las mejores prácticas y estándares de seguridad en el mundo.

El plan de acción de ENSREG incluye los siguientes elementos:

- Elaboración de planes nacionales de acción, que se someterán a una revisión *inter pares*.
- Apoyo a las acciones adoptadas por WENRA (Western European Nuclear Regulator Association) para desarrollar nuevos niveles de referencia, con el fin de armonizar la normativa en los países europeos sobre riesgos naturales, comportamiento de la contención en accidentes severos, gestión de accidentes y asistencia mutua entre los reguladores en caso de accidente.
- Visitas de seguimiento adicionales a centrales nucleares para intercambiar experiencias sobre las mejoras previstas o ya implantadas.
- Otras acciones adicionales en temas relevantes que requieren un desarrollo posterior, como la preparación para emergencias en el exterior de las centrales, el tratamiento del impacto de aviación y la comunicación, transparencia e implicación del público, entre otros.

Algunas de estas acciones ya se han llevado a cabo, como las visitas adicionales

de seguimiento a centrales nucleares. Durante el mes de septiembre, grupos de expertos pertenecientes a los equipos que realizaron las revisiones *inter pares* de los informes de las pruebas de resistencia han visitado nuevas centrales en Reino Unido, Francia, Alemania, Suecia, España y Eslovaquia. En España, la central que se visitó en esta ocasión fue la de Trillo. Los resultados serán un elemento más a tener en cuenta en la revisión *inter pares* de los planes de acción nacionales.

Otros elementos del plan de acción, como el trabajo de WENRA para desarrollar nuevos niveles de referencia sobre análisis de riesgos naturales y revisar los existentes sobre el comportamiento de la contención en accidentes severos y la gestión de accidentes, se han iniciado ya y se prevé que las tareas estén finalizadas en 2013. Posteriormente, cada país tendrá que modificar su normativa nacional para incorporar los nuevos niveles de referencia acordados.

Las otras acciones adicionales previstas en el plan de ENSREG sobre preparación para emergencias en el exterior de las centrales y el tratamiento del impacto de avión se han iniciado con el establecimiento de grupos de trabajo y otras iniciativas que se desarrollarán con calendarios y ritmos distintos, ya que en ellos participan no solo los organismos reguladores, sino también otras instituciones y organizaciones, nacionales e internacionales, lo que complica y dificulta el avance de los mismos.

Por todo ello, a continuación, este artículo se centrará en el primer punto del plan de acción, es decir, en los planes de acción nacionales, que son competencia exclusiva de los organismos reguladores y constituyen el objetivo central del plan para asegurar que las mejoras identificadas se llevan a la práctica en su totalidad, en plazos adecuados, y asegurando un enfoque y un alcance similar en todos los países.

### Planes de acción nacionales

Los planes de acción nacionales se han concebido como un documento único en el que se recopilen todas las acciones que se van a llevar a cabo en cada país como consecuencia del accidente de Fukushima, cualquiera que sea su procedencia, de manera que integre todas las actuaciones previstas y permita realizar un seguimiento del avance de su implantación.

Para ello, incluirá las previsiones para llevar a cabo las mejoras de seguridad identificadas por los titulares durante la realización de las pruebas de resistencia y también las requeridas por el organismo regulador nacional tras su evaluación, así como las medidas adicionales para implantar las recomendaciones y sugerencias de los equipos de revisión *inter pares* (*peer review*). Además, con el fin de aprovechar todas las oportunidades de mejora que se hayan identificado en los demás países participantes en las pruebas de resistencia, se tendrán en cuenta las recomendaciones y sugerencias realizadas en las *peer review* de todos los demás países. Finalmente, para integrar todas las acciones derivadas del accidente de Fukushima, se incluirán también las acciones derivadas de la aplicación de los resultados de la reunión extraordinaria de la Convención sobre Seguridad Nuclear, que tuvo lugar el pasado mes de agosto, según se explica más adelante.

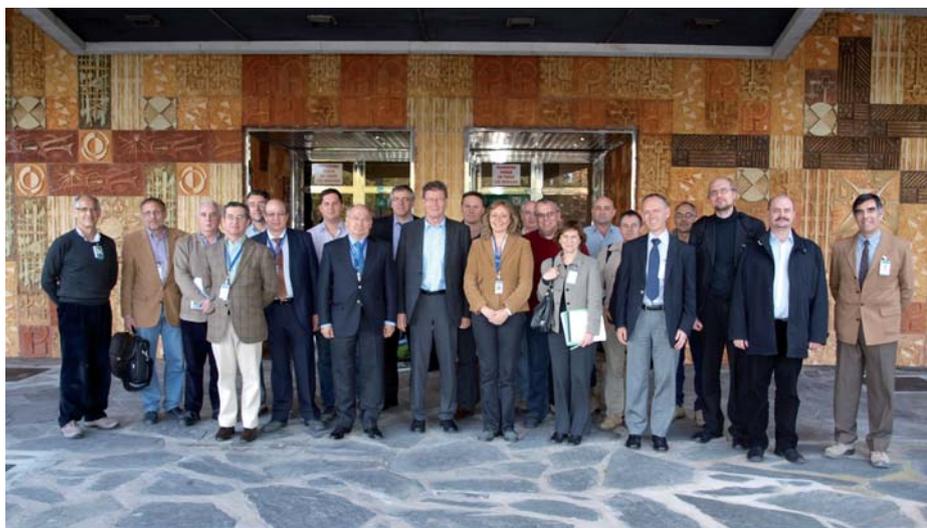
Una vez finalizada la revisión *inter pares* de las pruebas de resistencia en todos los países europeos, el plenario que supervisó la realización de estas pruebas elaboró un informe global en el que recoge las conclusiones del ejercicio y en el que se identifican cuatro grandes áreas de mejora en las que todos los países se han comprometido a seguir trabajando. Estas mejoras se refieren al desarrollo de guías para la evaluación de riesgos naturales, el uso de las revisiones periódicas de seguridad como un instrumento para mantener actualizada la seguridad de las plantas, es-

pecialmente en lo relativo a riesgos externos, el mantenimiento de la integridad de la contención en caso de accidente y la adopción de medidas para prevenir y limitar las consecuencias radiológicas de los potenciales accidentes. Además, incluye un resumen de las recomendaciones y sugerencias realizadas en los informes de revisión de cada uno de los países.

Dado que las visitas a los distintos países se realizaron por equipos diferentes y con un calendario muy apretado, no se tuvo la oportunidad de realizar un ejercicio posterior para homogeneizar y equilibrar las recomendaciones y sugerencias realizadas a cada uno de ellos. Como consecuencia, puede haber recomendaciones o sugerencias realizadas a un país que podrían ser perfectamente aplicables a otro, aunque en el informe correspondiente no se incluyeran. Por ello, para evitar que se pierdan esas oportunidades de mejora, todos los países decidieron revisar los resultados de los *peer review* de los demás países e incluir en su plan de acción los resultados de esta revisión. Para facilitar esta tarea, se ha elaborado un compendio de todas las recomendaciones y sugerencias contenidas en los informes de los *peer review*, que cada país analizará y utilizará para identificar las mejoras adicionales que correspondan.

Tanto las acciones derivadas del análisis de las cuatro grandes áreas de mejora identificadas en el informe del plenario de las pruebas de resistencia, como las acciones adicionales derivadas del análisis del compendio de recomendaciones y sugerencias contenidas en los informes de los *peer review*, se incluirán en el plan de acción nacional.

Otro foro internacional en el que cada Estado miembro ha reportado las acciones adoptadas tras el accidente de Fukushima ha sido la reunión extraordinaria de la Convención sobre Seguridad Nuclear, que tuvo lugar entre el 27 y el 31 de agosto pasado y que fue convocada



Grupo de expertos internacionales que realizó la *peer review* a España.

expresamente para este fin. Los informes presentados por cada país fueron analizados por grupos de revisión específicos, dedicados a cada uno de los temas relevantes identificados en el accidente de Fukushima, y los resultados de esa revisión se discutieron durante la reunión, detallándose una lista de aspectos y líneas de mejora que deberían ser consideradas por todos los países. En la próxima reunión de la Convención, que tendrá lugar en marzo de 2014, cada Estado miembro tendrá que dar cuenta de las medidas adoptadas como consecuencia del análisis de los aspectos y líneas de mejora identificadas en esta reunión. Estas medidas también se incluirán en el plan de acción nacional.

Por último, si como consecuencia de otras actuaciones nacionales, como por ejemplo, revisiones periódicas de seguridad u otro tipo de actuaciones, se hubieran identificado medidas de mejora que tuvieran relación con los temas derivados del accidente de Fukushima y analizados en las pruebas de resistencia, estas medidas deberán incluirse también en los planes de acción nacionales, de manera que todas las actuaciones queden recogidas en un único documento.

Los planes de acción nacionales deberán enviarse, antes de finales de 2012, a ENSREG y a la Comisión Europea,

quienes los distribuirán a todos los países participantes y se someterán a un nuevo ejercicio de revisión *inter pares*. Entre enero y marzo de 2013, todos los países podrán plantear preguntas sobre los planes de acción presentados, y en abril tendrá lugar un seminario al que acudirán todos los países participantes y en el que cada uno de ellos presentará su plan de acción, que se someterá a discusión y preguntas de todos los demás. Como resultado de esas sesiones, se podrán formular a cada país nuevas sugerencias o recomendaciones para completar o mejorar su plan de acción.

#### Plan de acción español

El plan de acción nacional se está elaborando siguiendo las directrices expuestas anteriormente, e incluirá las medidas comprometidas por los titulares de las instalaciones nucleares en sus informes de las pruebas de resistencia, así como las Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC) emitidas por el Consejo de Seguridad Nuclear el 14 de marzo de 2012. Tanto los informes de los titulares, como las ITC del CSN están disponibles en las páginas web de las centrales y en la del CSN<sup>3</sup>. Además, según se ha explicado anteriormente, otros elementos importantes del plan de acción nacional son las

#### Composición del equipo de expertos que visitó España durante el *peer review*

Oskar Grözinger (Alemania)  
 [Lider del equipo]  
 Andrea Bucalossi (Unión Europea)  
 Oleg Filipov (Ucrania)  
 Marc Noel (Unión Europea)  
 Evaldas Kimtys (Lituania)  
 Peter Uhrík (Eslovaquia)  
 Anthony Hart (Reino Unido)  
 Bernhard Reer (Suiza)

acciones derivadas de los resultados de las *peer review* al informe español de las pruebas de resistencia y las líneas de mejora identificadas en la reunión extraordinaria de la Convención sobre Seguridad Nuclear. Estos dos elementos se exponen con detalle a continuación.

#### Resultados de las *peer review* europeas al informe español de las pruebas de resistencia

El proceso de revisión *inter pares* al informe español se realizó siguiendo las directrices de ENSREG, tal como se ha descrito en otro artículo del número anterior de esta revista<sup>2</sup>. Durante la primera fase de revisión documental, que se llevó a cabo a lo largo de enero de 2012 y en la que cada país formulaba preguntas escritas a los informes de los demás países, se recibieron 179 preguntas al informe español, que fueron contestadas por escrito. La segunda fase consistió en la presentación y discusión del informe con los equipos de expertos que realizaron la revisión, y que tuvo lugar en Luxemburgo los días 6, 7 y 8 de febrero de 2012.

Finalmente, la tercera fase fue la visita al país, que se llevó a cabo entre el 19 y el 23 de marzo de 2012. El equipo que visitó España estuvo compuesto

por ocho expertos, que habían participada previamente en las sesiones de Luxemburgo. El día 20 de marzo visitaron la central nuclear de Almaraz, donde debatieron con los técnicos de la central el alcance y los resultados de las pruebas de resistencia realizadas, así como las medidas de mejora previstas. El resto de los días estuvieron en la sede del CSN, donde se entrevistaron con los técnicos que realizaron el informe español y pudieron revisar y discutir con ellos los escenarios supuestos, las hipótesis, los métodos de análisis, la documentación soporte y los resultados de la revisión del CSN.

■ Como conclusiones generales, el equipo de expertos europeos destacó la actitud de los técnicos de los titulares y del CSN con los que se entrevistaron durante la visita y que resumieron en los siguientes puntos:

- Fuerte compromiso con la mejora de la seguridad en el CSN y en los titulares, con equipos técnicos comprometidos y dedicados.
- Compromiso y actitud de aprendizaje en el CSN.
- Efectividad de las medidas adoptadas para mejorar la seguridad de las centrales.
- Apertura y transparencia en la comunicación con el público.

■ Respecto a los temas técnicos, señalaron en cada uno de ellos las fortalezas que habían detectado y las mejoras a llevar a cabo, en línea con las requeridas por el CSN en sus Instrucciones Técnicas Complementarias.

■ En relación con los sucesos externos, destacaron las siguientes fortalezas:

- Existencia de márgenes de al menos 50% por encima de la base de diseño.
- Amplia cobertura de efectos indirectos de terremotos (incendios,

efectos en industrias cercanas, roturas de tuberías no sísmicas...).

- Análisis de un amplio rango de escenarios de inundaciones.
  - Actualización de los datos históricos considerados en la base de diseño.
- Además, identificaron las siguientes áreas de mejora:
- Homogeneizar la base de diseño relativa a temperaturas extremas y fuertes lluvias en todas las centrales, de acuerdo con las mejores prácticas actuales ( $10^{-4}$  /año).
  - Incluir los datos geológicos y paleosismológicos más recientes en la actualización de la caracterización sísmica de los emplazamientos que el CSN va a requerir a las centrales.
  - Implantar las mejoras previstas para proteger contra inundaciones externas algunos edificios con equipos de seguridad.

■ En relación con la pérdida de funciones de seguridad, destacaron las siguientes fortalezas:

- Alimentación de las centrales desde centrales hidráulicas cercanas. Protocolos de Red Eléctrica de España para dar prioridad a la alimentación eléctrica a las centrales nucleares.

— Capacidad de operaciones manual para refrigerar el reactor en caso de pérdida total de alimentación eléctrica. Pruebas y procedimientos para estas operaciones.

— Mejoras introducidas en los sistemas eléctricos y en el sumidero final de calor como resultado de las revisiones periódicas de la seguridad y otros procesos.

■ También señalaron las siguientes áreas de mejora (ya previstas por los titulares y requeridas en las ITC del CSN):

- Equipos portátiles para asegurar el mantenimiento de las funciones de seguridad (generadores eléctricos, bombas, baterías...).
- Medidas para asegurar los controles y la instrumentación necesaria en caso de pérdida total de energía eléctrica o del sumidero final de calor.
- Pruebas periódicas de la alimentación desde centrales hidráulicas cercanas.

■ Respecto a la gestión de accidentes severos, identificaron las siguientes fortalezas:

- Grupo de trabajo de los titulares para analizar los refuerzos necesarios de los medios y la organización de emergencias.



Clausura de una reunión de ENSREG sobre las pruebas de resistencia a centrales europeas.

- Guías de gestión de accidentes severos validadas y aplicadas en ejercicios de emergencia, así como personal entrenado.
- Previsiones para la gestión y el confinamiento de grandes cantidades de agua contaminada.
- Posibilidad en la central de Trillo de inyección a la piscina de combustible y de refrigerar la contención desde el exterior del edificio.

■ Asimismo, señalaron las siguientes áreas de mejora (la mayoría de las cuales ya estaban identificadas en los informes de los titulares y requeridas en las ITC del CSN):

- Instalación de venteos filtrados de contención y quemadores pasivos de hidrógeno.
- Elaboración de guías de gestión de accidentes severos en condiciones de parada y de control de hidrógeno en el edificio de combustible gastado.
- Inclusión explícita de la gestión de accidentes severos en la Guía de seguridad para la revisión periódica de la seguridad.

Las acciones para llevar a cabo las mejoras sugeridas se incluirán en el plan nacional español.

#### Aspectos y líneas de mejora identificadas en la reunión extraordinaria de la Convención sobre Seguridad

En la reunión extraordinaria de la Convención sobre Seguridad Nuclear de agosto de 2012 se analizaron las actuaciones de los Estados miembros para reforzar la seguridad de las centrales tras el accidente de Fukushima. Estas actuaciones se centraron en los siguientes temas: riesgos derivados de fenómenos naturales, aspectos de diseño, gestión de accidentes severos, estructura y organizaciones nacionales responsables de la seguridad nuclear,

preparación y respuesta ante emergencias, y cooperación internacional.

En el transcurso de la reunión se identificaron los aspectos significativos que todos los Estados miembros deberían considerar en sus revisiones post-Fukushima y se acordó que, en la siguiente reunión ordinaria de la convención, que tendrá lugar en marzo de 2014, cada Estado miembro dé cuenta de los resultados de su análisis de esos aspectos significativos y de las mejoras que, como consecuencia, se adopten para reforzar la seguridad.

Dado que los países de la Unión Europea que han realizado las pruebas de resistencia ya han cubierto en ese ejercicio muchos de los temas identificados y tienen que presentar planes nacionales de acción a finales de 2012, se decidió incluir las acciones que se deriven de los resultados de la reunión extraordinaria de la convención en el plan de acción nacional, de manera que todas las actuaciones estén recogidas en un único documento y que se facilite el seguimiento y cumplimiento de las mismas.

Los aspectos significativos identificados durante la reunión extraordinaria de la convención, y que los Estados miembros se comprometieron a analizar para identificar posibles mejoras y a reportar en el informe para la siguiente reunión son los siguientes:

- a) Para las centrales nucleares existentes, los resultados de la reevaluación de sucesos externos, de las revisiones periódicas y revisiones *interpares*, así como acciones de seguimiento adoptadas o previstas, incluyendo las medidas de mejora.
- b) Para las centrales nucleares existentes, las acciones adoptadas o planificadas para hacer frente a riesgos naturales más severos que los considerados en las bases de diseño de la instalación.
- c) Para las nuevas centrales, mejora de las características de seguridad y otras

mejoras para hacer frente a riesgos externos y para prevenir accidentes, así como para, en caso de que ocurran, mitigar sus efectos y evitar liberación de contaminación al exterior.

- d) Medidas de mejora para la gestión de accidentes en caso de sucesos naturales extremos, incluyendo medidas para asegurar la refrigeración del núcleo y de la piscina de combustible gastado, las provisiones de fuentes alternativas de agua para aportar al reactor y a la piscina, la disponibilidad de alimentación eléctrica y medidas para asegurar la integridad de la contención, las estrategias de filtrado y de control de hidrógeno. Además, como posible actividad futura, se debe considerar el desarrollo de evaluaciones probabilistas de seguridad para identificar medidas adicionales de gestión de accidentes.
- e) Medidas adoptadas o planificadas para asegurar la independencia efectiva del organismo regulador de la seguridad respecto a influencias indebidas, incluyendo, cuando sea apropiado, los resultados las misiones IRRS que se hayan recibido.
- f) Refuerzo de la preparación para emergencias y medidas de respuesta, incluyendo la consideración de accidentes simultáneos en varias unidades, métodos para la estimación del término fuente y las iniciativas adoptadas sobre actividades de remedio. Este refuerzo debe incluir la definición de responsabilidades hasta los niveles adecuados del Gobierno nacional y el desarrollo de procedimientos y acciones conjuntas de las distintas agencias que tengan que intervenir, así como las mejoras necesarias en la cooperación internacional.
- g) Información de cómo se tienen en cuenta los estándares de seguridad del OIEA.



Segunda reunión extraordinaria de la Convención sobre Seguridad Nuclear.

h) Información sobre las actividades llevadas a cabo para aumentar la apertura y transparencia a todas las partes interesadas.

Las acciones que se deriven de estos análisis se deberán incluir también en los planes de acción nacionales, de acuerdo con las decisiones adoptadas por ENSREG.

Otros aspectos considerados como resultado de actuaciones nacionales En los análisis realizados tras el accidente de Fukushima, el CSN decidió requerir a las centrales nucleares medidas adicionales para hacer frente a la pérdida de grandes áreas de la central que pudiera producirse como resultado de acciones malintencionadas. Para ello, emitió unas Instrucciones Técnicas Complementarias a todas las centrales en julio de 2011, en las que requería el establecimiento de acciones mitigadoras para hacer frente a daños extensos, siguiendo las medidas adoptadas en EE UU tras los atentados del 11 de septiembre de 2001. Estas medidas están centradas en:

— Protección contra incendios de grandes dimensiones y larga duración,

superiores a las consideradas en la base de diseño.

- Mitigación de daño al combustible en el núcleo y en los almacenamientos (húmedo o seco) de combustible irradiado.
- Control de las emisiones de radiactividad y limitación de dosis al público y a los trabajadores.

Algunas de las estrategias para hacer frente a estas situaciones son comunes a las previstas para algunos de los escenarios analizados en las pruebas de resistencia, por lo que su implantación se hará de manera coordinada para cubrir ambos objetivos. Todas las acciones previstas se incluirán en el plan de acción español.

### Conclusiones

La reevaluación de la seguridad de las centrales nucleares europeas, a la luz del accidente de Fukushima, ha sido un ejercicio muy exigente y enriquecedor, que ha identificado las fortalezas existentes en las centrales y las mejoras que van a contribuir a hacerlas más robustas frente a situaciones extremas.

La colaboración internacional y las revisiones *inter pares* a que se han some-

tido estas reevaluaciones han aportado mayor solidez a los resultados y han ayudado a identificar oportunidades de mejora adicionales, al tener en cuenta las conclusiones y lecciones aprendidas de los demás países.

Las acciones de seguimiento acordadas dentro de ENSREG y en el marco de la Convención sobre Seguridad Nuclear y la elaboración de los planes nacionales de acción son un estímulo adicional para que la implantación se lleve a cabo en todos los países de forma rigurosa y sin retrasos injustificados.

Finalmente, la transparencia con que se está llevando a cabo todo el proceso está siendo un elemento esencial para asegurar la calidad y la credibilidad del mismo. 

### REFERENCIAS

- <sup>1</sup> José Ramón Alonso, “Las pruebas de resistencia realizadas a las centrales nucleares españolas,” *Alfa, Revista de Seguridad Nuclear y Protección radiológica*, núm.16, IV trimestre de 2011.
- <sup>2</sup> A. Gurgu y A. Munuera, “La revisión *inter pares* (*peer review*) de las pruebas europeas de resistencia post-Fukushima,” *Alfa, Revista de Seguridad Nuclear y Protección radiológica*, núm.18, III trimestre de 2012.
- <sup>3</sup> – Almaraz: <http://www.cnat.es/cnatweb/videos/Almaraz/index.html>.  
– Ascó: [http://213.27.212.87/anav/media/informes/CNa\\_Informe\\_Final/index.html](http://213.27.212.87/anav/media/informes/CNa_Informe_Final/index.html).  
– Cofrentes: [http://issuu.com/etejedorg/docs/cn\\_cofrentes.\\_informe\\_final\\_stress\\_test?mode=window&viewMode=doublePage](http://issuu.com/etejedorg/docs/cn_cofrentes._informe_final_stress_test?mode=window&viewMode=doublePage).  
– Garoña: [http://nuclenor.org/informe\\_pruebas\\_res/informe.htm](http://nuclenor.org/informe_pruebas_res/informe.htm).  
– Trillo: <http://www.cnat.es/cnatweb/videos/Trillo/index.html>.  
– Vandellós: [http://213.27.212.87/anav/media/informes/CNV\\_Informe\\_Final/index.html](http://213.27.212.87/anav/media/informes/CNV_Informe_Final/index.html).  
– Informe del CSN: [http://www.csn.es/imagenes/stories/actualidad\\_datos/pruebas\\_de\\_resistencia\\_informe\\_final.pdf](http://www.csn.es/imagenes/stories/actualidad_datos/pruebas_de_resistencia_informe_final.pdf).

## ARTÍCULO

# La asociación de autoridades competentes en protección radiológica (HERCA)

- › Rosario Velasco,  
consejera del CSN
- › Manuel Rodríguez,  
subdirector de Protección  
Radiológica Operacional
- › Ignacio Amor,  
jefe de Área de Servicios de  
Protección Radiológica
- › Isabel Villanueva,  
asesora de Relaciones  
Internacionales
- › José Manuel Martín  
Calvarro,  
jefe de Área de Planificación  
de Emergencias
- › M<sup>a</sup> Dolores Aguado,  
técnica del Área de  
Instalaciones Radiactivas  
Industriales
- › Marina Sánchez,  
técnica del Área de  
Instalaciones Radiactivas  
y Exposiciones Médicas

Este artículo pretende explicar de forma general las características y funcionamiento de HERCA (Heads of the European Radiological Protection Competent Authorities), una asociación voluntaria, de ámbito europeo, de autoridades reguladoras en materia de seguridad radiológica. Se constituyó en el año 2007 y su objetivo es armonizar las prácticas reguladoras, identificar nuevos problemas y aportar soluciones de consenso. La mayoría de las actividades de HERCA se centran en aspectos cubiertos por el tratado de EURATOM.

**E**n el ámbito de la protección radiológica se ha observado una amplia diferencia en las prácticas de trabajo de los países europeos. Dentro del entorno de la Unión Europea existen directivas y reglamentos que regulan el uso de las radiaciones ionizantes y la protección radiológica de los trabajadores expuestos, miembros del público, pacientes sometidos a tratamientos con radiaciones ionizantes y el medio ambiente. No obstante, la transposición de esos instrumentos legislativos a los marcos legales y reguladores nacionales dista mucho de ser uniforme, dando lugar a situaciones de desorientación entre los profesionales involucrados y la población en general.

A la vista del éxito obtenido por WENRA (asociación de organismos reguladores europeos en materia de seguridad nuclear), en la armonización de actividades en su ámbito, algunos organismos europeos empezaron a trabajar en la posibilidad de constituir una nueva asociación que trabajara con los mismos criterios en el campo de la protección radiológica.

A tal efecto, la autoridad reguladora francesa (ASN) tomó la iniciativa, en el año 2006, remitiendo un cuestionario a todas las autoridades reguladoras europeas con el fin de que se identificaran los temas prioritarios a armonizar en materia de protección radiológica. Como consecuencia de dicho trabajo, en el año 2007 se decidió la creación de la asociación HERCA.



Participantes en una reunión de los reguladores pertenecientes a HERCA, celebrada en España.

## Términos de referencia

Los términos de referencia de HERCA fueron establecidos y firmados por los miembros de la asociación en diciembre de 2008 y revisados en diciembre de 2010, cuando la asociación adoptó la denominación y estructura que tiene en la actualidad.

Para su redacción se tuvo en cuenta la experiencia de funcionamiento de HERCA desde su constitución en 2007, el convencimiento de la necesidad de una mayor cooperación entre las autoridades reguladoras europeas en materia de protección radiológica y la asunción de la importancia de que dichas autoridades mantengan una posición profesional independiente.

Los términos de referencia incluyen el establecimiento de los objetivos y competencias de la asociación, así como la definición del marco de referencia para sus relaciones exteriores en sus ámbitos de actuación.

## Objetivos

Los objetivos de HERCA son los siguientes:

- Construir y mantener una red europea de autoridades reguladoras en materia de seguridad radiológica.
- Promover el intercambio de experiencia y el aprendizaje de las mejores prácticas entre dichas autoridades.
- Debatir y, cuando sea adecuado, expresar opiniones de consenso sobre temas regulatorios importantes.
- Desarrollar mediante acuerdo, siempre que sea posible, enfoques comunes para las cuestiones de protección radiológica.
- Influir en la aplicación práctica de la protección radiológica dentro de los países miembros.

En resumen, se trata de avanzar hacia planteamientos comunes, con enfoques mutuamente aceptables y, siempre que sea posible, con criterios y actuaciones armonizados.

## Ámbitos de competencia

Los ámbitos de competencia de HERCA cubren todas las actividades dentro del campo de la protección radiológica asociadas con:

- El diseño, construcción, operación y desmantelamiento de instalaciones nucleares.
- El transporte de sustancias radiactivas.
- El almacenamiento y uso de materiales radiactivos o equipos generadores de radiación para fines industriales, médicos y de investigación.
- La exposición a fuentes de radiación de origen natural.

Se incluyen las actividades de protección radiológica en condiciones normales, las medidas a tomar en caso de incidentes o accidentes y las posibles consecuencias de actos deliberados destinados a causar daño utilizando materiales o equipos radiactivos.

HERCA se ocupa de los aspectos relativos a la protección radiológica tanto de las personas (trabajadores expuestos, miembros del público y pacientes) como del medio ambiente.

## Relaciones exteriores

De acuerdo con su política general, HERCA trata de buscar, siempre que sea posible, colaboración con otras organizaciones y agentes interesados, manteniendo su independencia. En la definición de sus actividades se presta atención a no duplicar trabajos ya realizados, o en curso, y a no suplantar a otras organizaciones, foros o instituciones que tengan formalmente atribuidas esas actividades.

HERCA trata de implicar en sus actividades, siempre que se considere adecuado, a la Comisión Europea y a otros agentes interesados. Un representante de alto nivel de dicha comisión es convocado sistemáticamente a las reuniones del comité de dirección de HERCA.

**Tabla 1. Participantes de HERCA**

- 200 representantes nacionales.
- 49 autoridades reguladoras de 31 países europeos.
- Representación de la Comisión Europea.
- Últimas incorporaciones en el año 2011: Italia, Estonia y Lituania.

**Tabla 2. Presidentes de HERCA**

- 2007-2008: André Claude Lacoste, presidente del Organismo Regulador Francés (ASN).
- 2008-2011: Ole Harbitz, del Organismo Regulador Noruego ((NRPA).
- Desde 2011: Sigurdur Magnusson, director de la Autoridad Islandesa de Seguridad Radiológica (GR).

## Representantes del CSN en el Comité de Dirección

- 2007-2011: Francisco Fernandez, Juan Carlos Lentijo e Isabel Villanueva.
- 2011-2012: Rosario Velasco, Juan Carlos Lentijo e Isabel Villanueva.
- A partir de junio de 2012: Rosario Velasco, Manuel Rodríguez e Isabel Villanueva.

La asociación está abierta a peticiones de asesoramiento en temas de protección radiológica o de regulación, procedentes de agentes interesados (*stakeholders*), y se asegura de que estos tienen la oportunidad de analizar el trabajo de HERCA y realizar comentarios o sugerencias al mismo.

Algunos de los agentes interesados en las actividades de HERCA son instituciones u organizaciones formalmente constituidas para tratar temas de protección radiológica; la interacción o colaboración con ellos es inevitable y evidente.



Reunión de trabajo de los representantes nacionales de la asociación.

Es el caso del Organismo Internacional de Energía Atómica y, por supuesto, de la CE, ya que ambos organismos son los encargados de establecer el marco en el que la mayoría de las autoridades reguladoras europeas desarrollan sus actividades. En estos casos, el objetivo principal es determinar la mejor manera de organizar esta colaboración, que muy probablemente deba tener lugar a nivel del Comité de Dirección de HERCA, o con *task forces* en temas específicos.

Cuando se considere necesario, la forma de interacción de HERCA con agentes externos puede formalizarse mediante un memorándum de entendimiento o un documento escrito similar, en el que se establecerán las responsabilidades y obligaciones de las partes, así como unas reglas de trabajo mínimas.

### Estructura de gestión y participación

La estructura de HERCA se basa en dos niveles de actuación:

- Un Comité de Dirección, formado por representantes de alto nivel de los organismos reguladores con competencias

en materia de protección radiológica dentro de Europa (tabla 1). Este comité tiene un presidente, elegido por los miembros del propio comité, asistido por una secretaria técnica. Se reúne dos veces al año (tabla 2).

El funcionamiento de HERCA fue aprobado por el Comité de Dirección en diciembre de 2010 mediante un documento donde se recogen las políticas internas y externas de esta asociación.

- Grupos de trabajo técnico, compuestos por expertos senior designados por los organismos reguladores.

En la actualidad existen cinco grupos de trabajo (sobre sus características, tabla 3):

- Carné radiológico y trabajadores externos.
- Fuentes y prácticas industriales.
- Aplicaciones médicas.
- Emergencias.
- Vigilancia de las dosis colectivas debidas a exposiciones médicas.

Los grupos de trabajo se rigen por mandatos aprobados por el Comité de Direc-

ción donde se especifican los objetivos del grupo, los resultados que se esperan y el tiempo en el que se deben conseguir esos objetivos.

De forma voluntaria, los países pertenecientes a HERCA expresan en el Comité de Dirección su voluntad de participar en cada grupo de trabajo y proceden a la designación oficial de expertos. Los grupos están dirigidos por un presidente y un vicepresidente, que son expertos en la materia. El presidente del grupo de trabajo informa en cada una de las reuniones del Comité de Dirección sobre el avance y resultados de las actividades llevadas a cabo.

España participa, a través del Consejo de Seguridad Nuclear, como miembro de esta asociación desde el momento de su creación.

### Relaciones con la Comisión Europea y los agentes interesados

De acuerdo con los objetivos y términos de referencia de HERCA, se debe evitar la duplicación de acciones con otras organizaciones internacionales, y es necesario promover el intercambio de información entre HERCA y otras asociaciones.

Desde su creación, HERCA invita a la CE a participar en las reuniones del Comité de Dirección y en aquellos grupos de trabajo que sean de su interés, con el fin de armonizar prácticas. Ello se debe al importante papel que juega la CE, por un lado en la elaboración de propuestas de directivas y reglamentos de obligado cumplimiento para los Estados miembros de la UE, de grupos de trabajo, proyectos para el desarrollo de guías de trabajo etcétera,

Así, desde el nacimiento de HERCA se ha contado con la presencia de representantes de la Dirección General de Energía de la CE, lo que ha permitido un importante intercambio de información y la adopción por parte de la CE de

**Tabla 3. Grupos de trabajo, actividades realizadas y en curso**

### **I. Grupo de trabajo sobre trabajadores externos y carnet radiológico**

Representante del CSN: Ignacio Amor.

Fecha de creación: enero de 2008.

**Mandato aprobado por el Comité de Dirección de HERCA:** Analizar y valorar la implantación de la Directiva 90/641 en los distintos Estados miembros de la UE y tratar de alcanzar mejor armonización de las distintas prácticas nacionales.

Dicha directiva requiere el uso de un documento individual de seguimiento radiológico a los trabajadores expuestos de las empresas de contrata, en el que se registren los datos correspondientes a la vigilancia dosimétrica, a la vigilancia médica y a la formación en protección radiológica.

#### **Propuesta y otras actividades del grupo:**

- Creación de un carnet radiológico europeo. Tras la reunión del grupo de trabajo con representantes de la Comisión Europea, se eleva una primera propuesta al Comité de Dirección de HERCA en junio de 2010. Aprobada la propuesta en octubre de 2012, se decide trasladarla a la CE, con el fin de incorporarla a la futura Directiva Refundida de EURATOM que establece las normas básicas de seguridad para la protección radiológica de los trabajadores y del público.
- Intercambio electrónico de datos dosimétricos entre los Estados miembros. Atendiendo a los diferentes comentarios de los interesados y afectados por la propuesta del carnet radiológico, se elabora un documento explicativo dirigido a los usuarios finales del Carnet Radiológico Europeo.

### **II. Grupo de trabajo sobre fuentes y prácticas no médicas**

Representante del CSN: M<sup>a</sup> Dolores Aguado.

Fecha de creación: mayo de 2010.

**Mandato aprobado por el Comité de Dirección de HERCA:** Armonización y aplicación de la regulación sobre protección radiológica en las prácticas no médicas mediante el intercambio de información entre las autoridades reguladoras y compartiendo conocimientos sobre aspectos científico-técnicos.

El grupo está encargado de estudiar temas relacionados con la justificación y optimización de aplicaciones no médicas de las radiaciones ionizantes.

#### **Propuestas y otras actividades del grupo:**

- Uso de escáneres corporales por razones de seguridad en el marco de la UE. El grupo valoró la justificación y elevó un informe al Comité de Dirección de HERCA para su aprobación y publicación en la página web de la asociación.
- Posteriormente, en el año 2011, la CE preparó una propuesta para su adopción en el marco del Consejo de la UE sobre el uso de esos equipos. Finalmente se ha adoptado la publicación de un documento elaborado por el Departamento de Seguridad Aérea en el que se aconseja usar escáneres de seguridad que no empleen rayos X dentro de los métodos autorizados para chequeo de pasajeros en aeropuertos.
- Regulación en relación con las lámparas de iluminación que contienen pequeñas cantidades de material ra-

documentos resultantes de las actividades de HERCA, como es el caso del formato de Carné Radiológico Europeo para trabajadores expuestos externos.

Por otro lado, la participación de la CE en HERCA permite a los miembros de esta asociación disponer de información actualizada sobre los programas de trabajo en curso o planificados por la CE, el estado y avance de las propuestas de directiva y la reglamentación en materia de protección radiológica, así como el avance de los proyectos de elaboración

de guías prácticas de implementación sobre temas concretos.

HERCA está preparada para considerar los requerimientos expresados por agentes interesados significativos para disponer de su asesoramiento en materia de protección radiológica y regulación, asegurando que estos grupos tengan la oportunidad de realizar comentarios a su trabajo.

En los últimos años, la actividad de HERCA para disseminar la información resultante de sus actividades y crear

acuerdos con otros organismos internacionales ha sido intensa (tabla 4).

Por otro lado, se proporciona información y contestación a las preguntas que son realizadas por grupos implicados a través de la secretaría de HERCA. Se han incrementado en los últimos años la participación en seminarios, talleres y conferencias donde se comunica e informa sobre los trabajos realizados y en curso.

Con el objetivo de facilitar la comunicación entre los socios de HERCA, así

diactivo. Después de un estudio sobre la situación existente en Europa, se concluyó que el riesgo radiológico es muy bajo, por lo que su uso debe estar excluido de acciones reguladoras, aunque sí su producción y comercialización. El Comité de Dirección de HERCA aprobó la publicación de una declaración sobre este tema, disponible en su página web.

- Justificación y reglamentación en los diferentes países sobre equipos portátiles de rayos X.
- Detectores iónicos de humo. Se ha evidenciado cierta disparidad en la aplicación del principio de justificación entre los diferentes países europeos.

### III. Grupo de trabajo sobre aplicaciones médicas

Representante del CSN: Marina Sánchez.

Fecha de constitución: enero de 2008.

#### Mandato aprobado por el Comité de Dirección de HERCA:

Cubrir todos los aspectos relacionados con el uso de las radiaciones ionizantes en el diagnóstico y tratamiento médico con el objetivo de armonizar e implementar la regulación en materia de protección radiológica, centrándose en los principios de justificación y optimización.

Aumentar la implicación de los agentes implicados en los temas de protección radiológica, mediante el incremento del intercambio de información sobre las buenas prácticas entre los reguladores y otras autoridades competentes, incrementando el intercambio de información científica entre los expertos en el campo médico y las autoridades reguladoras.

#### Actividades del grupo:

- Justificación:
  - Concienciar a los profesionales sanitarios acerca de las dosis recibidas en las diferentes exploraciones médicas y los riesgos asociados.
  - Analizar las actividades reguladoras de justificación en las exploraciones radiológicas.
  - Difundir las actividades realizadas por el grupo entre los diferentes foros de profesionales y asociaciones científicas.
- Optimización:
  - Realizar un programa de formación estándar para los inspectores de las autoridades reguladoras europeas.
- Exposición de individuos asintomáticos:
  - Analizar los programas de prevención e identificar ejemplos de buenas prácticas por parte de las autoridades reguladoras, con el fin de establecer las recomendaciones oportunas basadas en la evidencia científica.
- Fabricantes de equipos de TC:
  - Firma de un compromiso voluntario entre HERCA y la asociación europea que representa a la industria tecnológica de imagen médica, electromédica y de salud I (COCIR) para desarrollar un programa de actuación encaminado a conseguir la reducción de las dosis recibidas por los pacientes debido a la ejecución de estas prácticas.
- Alta de pacientes en terapia metabólica:
  - Se elaboró un documento, aprobado por el Comité de Dirección de HERCA, en el que se recogen los criterios de alta en pacientes sometidos a tratamiento con I-131, que está disponible en la página web de HERCA.

como de dar a conocer los resultados de los trabajos llevados a cabo por esta asociación, sus actividades y funcionamiento, se creó en enero de 2011 una página web ([www.herca.org](http://www.herca.org)), cuyo *webmaster* es la autoridad reguladora belga (FANC) y es coadministrada por la Secretaría Técnica (ASN).

### Conclusiones

Desde la creación de HERCA, se dispone de un foro para cooperar de forma más cercana entre las autoridades competen-

tes en materia de protección radiológica en Europa.

El contacto continuo con la Comisión Europea, así como con otros agentes involucrados, ha permitido evitar las duplicidades de trabajo.

La asociación es relativamente joven, ya que lleva seis años funcionando. Sin embargo, en este periodo se ha dotado de una infraestructura suficiente y de reglas o procedimientos de trabajo internos para su adecuado funcionamiento (programa de trabajo, política

de relaciones externas, creación de una web, y adopción del estilo y formato de presentaciones, entre otras cosas). Y los resultados técnicos ya obtenidos son significativos, resaltando los siguientes:

- El desarrollo de un carné radiológico para trabajadores expuestos externos en Europa, que será implementado una vez adoptada la nueva propuesta de Directiva de Euratom.
- La aprobación y publicación de una declaración sobre la justificación de los escáneres de cuerpo entero

**Tabla 3. Grupos de trabajo, actividades realizadas y en curso (continuación)**

#### IV. Grupo de trabajo sobre emergencias

**Representante del CSN:** José Manuel Martín Calvarro.

**Fecha de constitución:** Se crea en 2007, inicialmente el grupo de trabajo se denomina Emergency Protection Action Levels (EPAL) y desarrolla su trabajo hasta 2010.

**Mandato aprobado por el Comité de Dirección de HERCA:** Armonizar los criterios en la adopción de las medidas de protección de la fase urgente de la emergencia: confinamiento, profilaxis radiológica y evacuación.

El análisis inicial realizado por el grupo EPAL puso de manifiesto las discrepancias existentes en el entorno europeo a la hora de efectuar las estimaciones de los niveles de intervención, la diversidad de códigos de cálculo utilizados, los diferentes tiempos de integración, las diferentes unidades en las que se establecen dichos valores de niveles de intervención y los valores de dosis evitables.

Tras el accidente de Fukushima, HERCA revisó el mandato del grupo y se enfocó a desarrollar actividades armonizadas en base a las experiencias aprendidas. El nuevo mandato al Grupo de Emergencias se desarrollará en 2012 y 2013.

Este nuevo mandato incluye un plan de acción para el año 2012 que considera actividades en relación con accidentes nucleares que ocurran en lugares distantes de

la UE, pero que puedan tener impacto en el ámbito europeo. En 2013, el grupo analizará la armonización ante un potencial accidente nuclear que ocurra dentro de las fronteras de la UE y que pueda afectar a varios Estados miembros.

#### Actividades del grupo:

Además de las actividades encaminadas a desarrollar el mandato concreto del Comité de Dirección de HERCA, el grupo está realizando las siguientes actividades:

- Definir la plataforma que permita compartir cálculos para las estimaciones de dosis en caso de accidente remoto, tanto para la zona afectada por el accidente como para zonas más alejadas.

- Análisis de la reacción pública y las medidas recomenatorias que fueron emitidas por los estados miembros de la UE tras el accidente de Fukushima, así como la influencia de las recomendaciones impartidas por países de la UE a sus ciudadanos en Japón y a sus embajadas.

#### V. Grupo de trabajo sobre vigilancia de las dosis colectivas debidas a las exposiciones médicas

**Representante del CSN:** No se ha designado representante.

**Fecha de constitución:** enero de 2008.

**Mandato aprobado por el Comité de Dirección de HERCA**

mediante rayos X por motivos de seguridad física.

- Una visión conjunta de los aspectos reguladores para lámparas que con-

tienen pequeñas cantidades de material radiactivo.

- El desarrollo de criterios para dar de alta a pacientes tratados con terapia de

I-131, y la creación de un modelo de tarjeta europea para el alta de este tipo de pacientes.

- Se ha establecido un diálogo entre

**Tabla 4. Organismos internacionales con los que HERCA mantiene acuerdos**

- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA)
- Agencia de Energía Nuclear (NEA/OCDE)
- Comité de Protección Radiológica y Salud Pública (CRPPH)
- Food and Drug Administration (FDA), de Estados Unidos, a través de su Center for Devices and Radiological Health (CDRH)
- Asociación Europea de Autoridades Competentes en el Transporte de Material Radioactivo (EACA)

- Asociación Europea de Fabricantes de Equipos de Imagen Médica y Electro-médica (COICR)
- Federación Europea de Organizaciones de Física Médica (EFOMP)
- Asociación Europea de Física Médica (EANM)
- Federación Europea de Sociedades de Radiógrafos (EFRS)
- Sociedad Europea de Radiología (ESR)

- Cardiovascular and Interventional Radiological Society of Europe – Sociedad Europea de Radiología Cardiovascular e Intervencional (CIRSE)
- European Network on Education and Training in Radiological Protection (ENETRAP)
- Plataforma Europea de Preparación para Respuesta en Caso de Emergencia Nuclear y Radiológica (NERIS)

El mandato a este grupo viene determinado por las actividades de la CE, asesorada por el grupo de expertos del artículo 31 de EURATOM, que en 2004 promovió un proyecto para estudiar el cumplimiento por los países miembros de la Directiva sobre exposiciones médicas, en lo que se refiere a la realización de estimaciones de dosis a la población debidas a esas exposiciones, y desarrollar guías para llevar a cabo esas estimaciones.

El proyecto *Dose Datamed* en el que participaron diez países, se publicó en 2008 (*Radiation Protection 154* o RP-154). En 2012 se inició un nuevo proyecto, el *Dose Datamed 2*, siguiendo la metodología propuesta en el documento RP154.

#### Actividades del grupo:

A la vista de los resultados del proyecto *Dose Datamed*, HERCA encargó a este grupo:

- Constituir una red de organizaciones expertas implicadas en la realización de estimaciones de dosis a la población para promover estudios nacionales y compartir iniciativas, experiencias e información relativas a la frecuencia de procedimientos médicos con radiaciones ionizantes y a dosis impartidas a los pacientes en los mismos. Se incluye la realización de comparaciones sobre estos parámetros en los diferentes países.

- Mantener actualizados los conocimientos técnicos necesarios para la correcta aplicación de la metodología desarrollada en el documento RP-154.

- Realizar el seguimiento y la revisión de las tendencias en la dosis a la población y de la contribución relativa a la dosis total de los diferentes grupos de procedimientos.

- Colaborar con otras organizaciones que trabajan en estos aspectos (ICRP, ICRU, IRPA), o con aquellas encargadas de la emisión de normativa técnica (ISO, IEC, DICOM e IHE).

- Realizar un estudio de comparación de frecuencias y dosis a pacientes para los 20 procedimientos de radiodiagnóstico que, de acuerdo con la publicación RP-154, son los mayores contribuyentes a la dosis colectiva de la población. El estudio se realizó sobre 13 países europeos para el año 2008 y se publicó en 2010.

- Asesoramiento a la CE para elaborar las especificaciones para petición de ofertas del proyecto europeo *Dose Datamed 2*.

- Colaboración con la OMS y UNSCEAR para elaborar un nuevo cuestionario para los informes periódicos de este último organismo.

En la última reunión del Comité de Dirección de HERCA, celebrada en octubre de 2012, se acordó reiniciar las actividades de este grupo dentro del dedicado a aplicaciones médicas, para lo cual se presentará una propuesta en la próxima reunión del Comité de Dirección de HERCA en el año 2013. ©

los grupos implicados —por ejemplo, un compromiso voluntario con los fabricantes de sistemas de Tomografía Computarizada (TC)—, con el fin de acordar

un plan de acción que evite dosis innecesarias y no justificadas a pacientes sometidos a este tipo de prácticas.

- Se han publicado datos sobre la contribución de las 20 prácticas más importantes en TC a la dosis colectiva.

Asimismo, HERCA está llevando a cabo en la actualidad importantes desarrollos y esfuerzos de coordinación, entre los que cabe destacar el análisis y discusión de estrategias europeas para la respuesta en situación de emergencia nuclear y los contactos para alcanzar vías de cooperación con las agencias de Estados Unidos implicadas en temas de protección radiológica (FDA, NCRP).

De todo ello se puede concluir que el trabajo de esta asociación es de gran

importancia para el CSN, que debe seguir promocionando la participación de expertos del organismo en los grupos de trabajo y facilitar la aplicación de los resultados de los trabajos cuando se considere necesario.

El intercambio de información y conocimiento, así como el establecimiento de contactos con el resto de organismos reguladores en Europa, es un valor añadido que proporciona la participación en HERCA.

Por último, es importante destacar que esta asociación permite una racionalización de recursos, dado que dentro de sus objetivos se promueve la colaboración con asociaciones profesionales y grupos de trabajo internacionales, con el objetivo último de evitar la duplicación de trabajos. ©

- Federación Europea de Compañías de Lámparas (ELC)
- Optimization of Radiation protection for Medical staff (ORAMED)
- MEDRAPET (proyecto de la CE para la identificación de necesidades en formación en protección radiológica)
- European Medical ALARA Network (EMAN)



› G. Rodolfo Saragoni  
Miembro del Comité Científico del Centro Internacional Seguridad Sísmica del OIEA

## Evaluación del *input* sísmico para plantas nucleares

El accidente de la planta nuclear de Fukushima Dai-ichi, la decimoquinta más grande del mundo y la segunda del Japón, con 4.700 MW, ocurrido como consecuencia del terremoto de Tohoku (Japón) del 11 de marzo de 2011, representa el primer accidente de la historia de la industria nucleoelectrónica debido a un desastre natural. El daño a la planta producido por este terremoto, el quinto en magnitud registrado a nivel mundial ( $M_w = 9,0$ ), y por el consiguiente maremoto, serán materia de estudio de la comunidad nuclear por muchos años. Este artículo está basado en la conferencia pronunciada recientemente en el CSN por el autor, profesor de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile.

En este trabajo se hace un análisis preliminar de las razones que condujeron a subestimar la evaluación del *input* sísmico en el diseño de una planta tan importante como la mencionada. En primer término se describen las características de la sismicidad del Japón; después se realiza una descripción de la práctica de diseño sísmico japonesa basada en el coeficiente sísmico; a continuación se caracteriza el terremoto de Tohoku; luego se analiza el criterio de evaluación del *input* sísmico para el di-

seño de la planta de nuclear Fukushima Dai-ichi y finalmente se hace una revisión de los criterios usados en la evaluación del *input* sísmico para el diseño de reactores nucleares y sus perspectivas futuras.

### Sismicidad de Japón

El archipiélago japonés se encuentra ubicado en el área circumpacífica, cuya sismicidad se caracteriza por ser fundamentalmente de tipo subducción, con la excepción de la zona de California. En la figura 1 se muestra esta área, dominada por las pla-

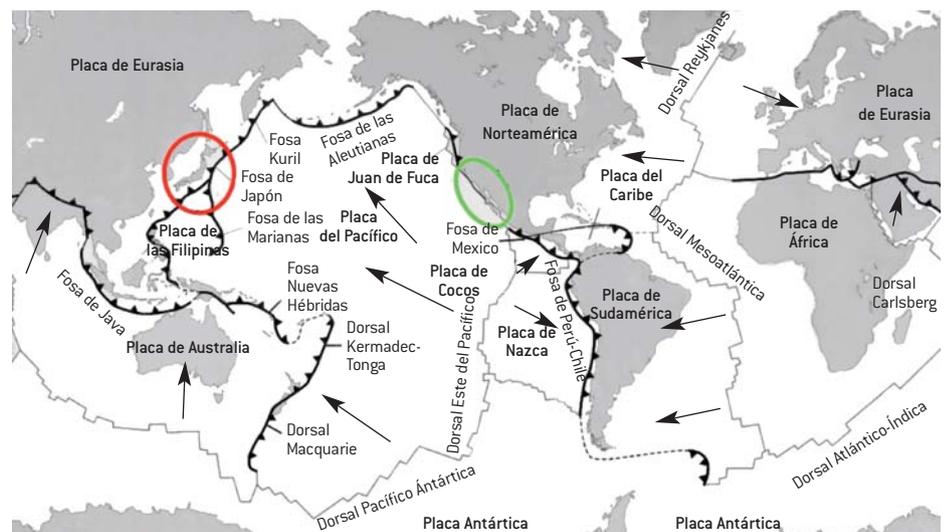


Figura 1. Subducción en el área circumpacífica, indicada mediante líneas con dientes de sierra. California es la excepción a esta situación dominante.

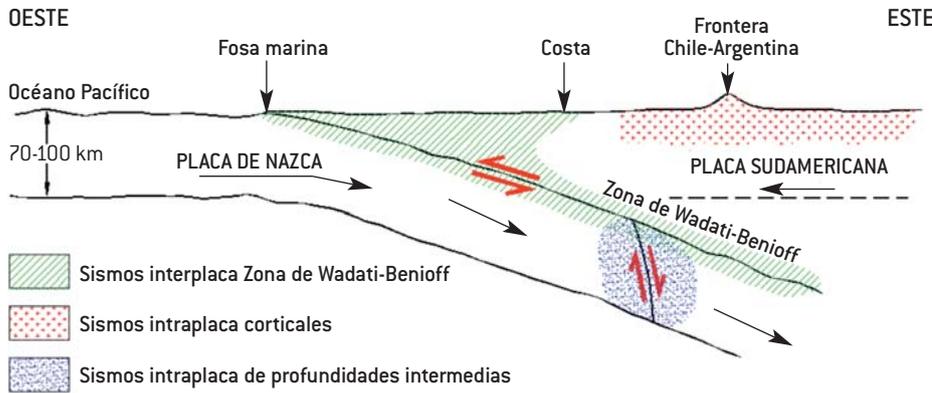


Figura 2: Esquema de subducción señalando los tipos de fuentes sísmogénicas.

cas del Pacífico y de Nazca en el océano Pacífico y rodeada continentalmente por Eurasia, Norteamérica, Australia y Sudamérica. Las placas marinas se deslizan bajo las placas continentales como consecuencia de los desplazamientos relativos, tal como se muestra en la figura 2 para el caso de Chile. En la figura 1 se indica la subducción con líneas de sierra, mostrando que este fenómeno domina la sismicidad de la zona. La subducción generalmente va asociada a la presencia de volcanes, lo que hace que esta zona sea conocida como cinturón de fuego del Pacífico.

La sismicidad en Japón es algo más compleja, pues considera la interacción de cuatro placas: Eurasia, Norteamérica, Filipinas y Pacífico, y es consecuencia de la subducción de la placa del Pacífico bajo la placa norteamericana en el noreste del archipiélago y de la subducción de la placa de Filipinas bajo la placa de Eurasia en el sureste del país (figura 3).

Ello hace que la sismicidad del norte y la del sur del Japón sean diferentes. Considerando además la relación entre la tasa de convergencia relativa entre pla-

cas ( $V$  en  $\text{cm/año}$ ) y la edad de estas ( $T$  en millones de años), es posible estimar la magnitud momento máxima  $M_w$  del sismo posible considerando la relación debida a Heaton y Kanamori (1984):

$$M_w = 0,089T + 0,134V + 7,96$$

Se aprecia en la figura 4 que el terremoto máximo registrado en el sur de Japón es  $M_w = 8,6$ , en tanto que en el NE es  $M_w = 8,2$ . El terremoto Tohoku ocurrió en la subducción del NE, pero con una magnitud momento  $M_w = 9,0$ , que es una de las principales razones de la subestimación del *input* sísmico para el diseño de las centrales y de la altura de la ola de inundación del *tsunami*.

Por otra parte, la sismicidad del país, medida por la frecuencia con la que ocurren anualmente los sismos, hace que sea una zona de alta sismicidad. Esta característica ha conducido a la ingeniería sísmica japonesa a preferir los métodos deterministas sobre los probabilistas, en atención a que el período de ocurrencia entre grandes



Figura 3. Interacción de las placas en el archipiélago del Japón.

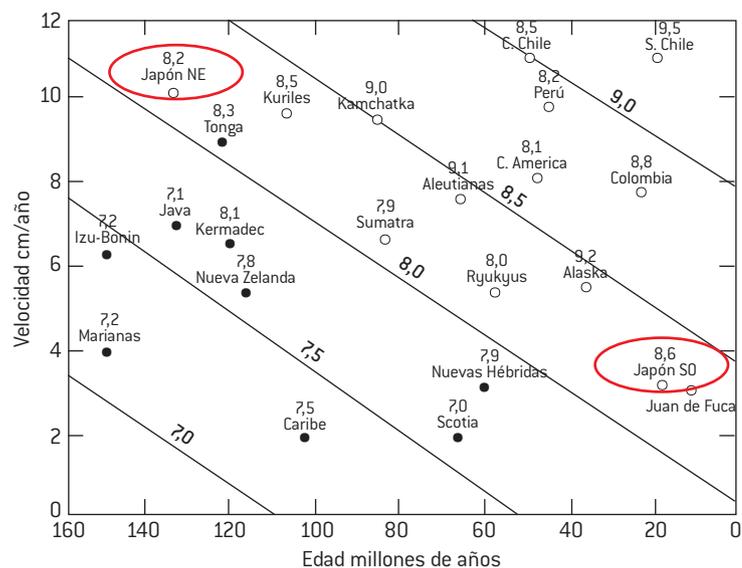


Figura 4: Relación entre la tasa de convergencia relativa entre placas, edad de la placa que se desliza por debajo y magnitud máxima de sismos posibles. Los números indican magnitudes máximas registradas en el mundo, mostrando en particular los dos casos de Japón. Las diagonales indican el rango de magnitud según la ley establecida por Heaton y Kanamori (1984).

terremotos es inferior al período de retorno considerado en los estudios probabilísticos.

### El método del coeficiente sísmico y las aceleraciones máximas

A consecuencia del terremoto de Messina – Reggio Calabria (Italia) de 1908, el Gobierno italiano formó una comisión, como consecuencia de la cual el profesor M. Panetti formuló el método del coeficiente sísmico  $C_0$  en que el corte basal  $Q_B$  queda dado por:

$$Q_B = C_0 * P \quad (1)$$

Donde  $P$  es el peso del edificio.

Panetti dio además la distribución de la fuerza sísmica en altura, para edificios de hasta tres pisos, con un coeficiente sísmico del orden de  $C_0 = 0,11$ . Sin embargo, como este método fue postulado con posterioridad al terremoto, no se pudo calibrar su efectividad. En todo caso, la propuesta de Panetti se reconoce como el primer método racional de diseño sísmico de la historia.

En 1906 tuvo lugar el importante terremoto de San Francisco (EE UU), que fue estudiado por el profesor Riki Sano, miembro del Comité de Investigación para la Prevención de Peligros Sísmicos del Japón. En 1914 Sano publicó un li-

Santiago, Chile  
Accelerograph Record

September 13, 1945

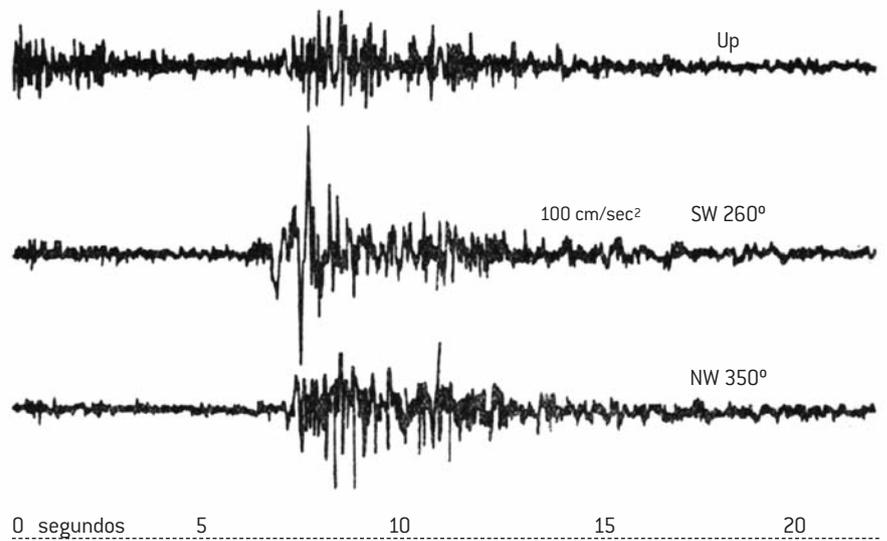


Figura 5. Acelerograma registrado en Santiago de Chile el 13 de septiembre de 1945.

bro titulado *Kaoku Taishin Kozo Ron (Teoría de las Estructuras de Edificaciones Resistente a Temblores)*, en el que proponía el método llamado del coeficiente sísmico, regido por la ecuación (1).

Esta propuesta fue aplicada por Sano y sus alumnos de la Universidad Imperial de Tokio al diseño de varias edificaciones de hormigón armado. Su método fue desarrollado posteriormente por el profesor Tachu Naito, de la Universidad de Waseda, en su libro titulado *Kaoku Kenchiku Taishin Kozo Kon*

(*Teoría de las Estructuras de Edificaciones Resistentes a Terremotos*), publicado en 1922.

En 1923 ocurrió el terremoto de Kwanto, distrito del Gran Tokio, que provocó gran destrucción y más de 90.000 muertos. Los edificios de hormigón armado diseñados por Sano y Naito empleando el método estático del coeficiente sísmico, especialmente el edificio del Japan Industrial Bank, sobrevivieron el terremoto, calibrando con ello la efectividad del método estático.



La ciudad de Tokio tras el terremoto de Kwanto, en 1923.



Imagen de satélite en el que se indica el lugar donde se inició la ruptura que generó el terremoto de 2011.



Rodolfo Saragoni, a la derecha, durante la conferencia que ofreció en el CSN, junto al vicepresidente del organismo, Antonio Colino, que presentó el acto.

En 1924 el Gobierno japonés agregó un nuevo artículo para la ejecución de la Ley de Edificaciones Urbanas: “El coeficiente sísmico horizontal deber ser 0,1”. Fue la primera regulación de diseño sísmico por ley en el mundo e introducía el coeficiente sísmico  $C_o$ .

Como consecuencia de la Segunda Guerra Mundial y la escasez de materiales de construcción derivada que produjo en Japón, se promulgó la Norma de Tiempos de Guerra, donde se aumentaban las tensiones admisibles para cargas poco frecuentes, como los terremotos, con el objetivo de ahorrar materiales, pero para no reducir la seguridad de los edificios, los ingenieros aumentaron el coeficiente sísmico a  $C_o = 0,20$ .

En 1930 el ingeniero norteamericano John R. Freeman, ligado a la industria de seguros, y que había visitado la zona epicentral de los terremotos de San Francisco, Messina-Reggio Calabria y Kwanto, convenció al Gobierno norteamericano de la necesidad de construir un instrumento que midiera las variaciones temporales de las aceleraciones de los terremotos.

El instrumento, conocido como acelerógrafo de movimiento fuerte tipo

Montana, fue construido por el Servicio Geológico de EE UU en 1932, obteniéndose el primer registro en 1933. La figura 5 muestra los acelerogramas obtenidos con ese tipo de instrumentación en Santiago de Chile en 1945.

Dado que tanto las aceleraciones máximas PGA (Peak Ground Acceleration) como los coeficientes sísmicos se miden ambos en g, ello ha introducido una persistente confusión en la ingeniería japonesa entre coeficiente sísmico y PGA, que va a tener importantes consecuencias en la elección del *input* sísmico para el diseño de la planta nuclear de Fukushima Dai-ichi, materia que será discutida en detalle en las secciones siguientes.

### El terremoto de Tohoku de 2011

El 9 de marzo de 2011, dos días antes del terremoto, ocurrió en el mar, en el mismo lugar donde se inició el terremoto de Tohoku, un premonitor de magnitud momento  $M_W = 7,2$ . Las autoridades japonesas se alarmaron y preguntaron si ese era el terremoto máximo que podía ocurrir en el noreste del Japón, y de acuerdo a lo discutido, con los antecedentes de Heaton y Kanamori (1984), se indicó que ese no era el máximo terremoto, sino

que el máximo terremoto era  $M_W = 8,0$ . Dos días después se produjo el terremoto de Tohoku  $M_W = 9,0$  con su devastador *tsunami*, mostrando las limitaciones de la sismología a nivel mundial y de la ingeniería en el país mejor preparado del mundo para evitar el desastre de *tsunamis*.

El terremoto del 11 de marzo de 2011 tuvo su epicentro a  $38,322^\circ$  N y  $142,369^\circ$  E, con una profundidad focal de 32 kilómetros, a 129 kilómetros de Sendai en la costa este de la isla Honshu. Fue un terremoto de subducción interplaca tipo *thrust*, que dada su gran magnitud momento, es el quinto a nivel mundial por magnitud, y produjo un enorme maremoto o *tsunami*.

Los muertos ascendieron a 8.450, los desaparecidos a 12.931 y las pérdidas se estiman en 200 millones de dólares, sin incluir los costes directos e indirectos del accidente de la planta nuclear de Fukushima Dai-ichi.

La mayoría de los muertos y desaparecidos se debieron al *tsunami*, dado que las defensas contra este fenómeno se construyeron para un terremoto *tsunamigénico* de  $M_W = 8,0$ , resultando insuficiente para este terremoto  $M_W = 9,0$ , pasando por ello las olas por encima de las defensas. Hoy en Japón se reconoce que se debió principalmente a una mala interpretación del terremoto de Jogan del año 869, que habría producido un *tsunami* de similares características.

El terremoto de 2011 se caracteriza además por una subsidencia de la costa del orden de 1,3 a 1,5 metros, que redujo la altura de protección de las defensas contra *tsunamis*; y por la liberación de energía según dos asperezas dominantes, lo que se manifiesta en los acelerogramas por la llegada separada de dos paquetes de energía, con una duración total de más de dos minutos. La aceleración máxima horizontal que se registró alcanzó 2,7g en la prefectu-

ra de Minayi, pero hay discusiones sobre si esta fue bien registrada.

Los valores de los PGA registrados en sentido horizontal fueron inferiores a los predichos por la fórmulas de atenuación para terremotos de subducción interplaca *thrust* de Japón, con excepción de las pocas estaciones en la costa que registraron PGA mayores a 1g.

### Caracterización del *input* sísmico de la central nuclear de Fukushima Dai-ichi

La central nuclear de Fukushima Dai-ichi está ubicada en un emplazamiento de 350 hectáreas entre las ciudades de Okuma y Futaba, del distrito Futaba de la prefectura Fukushima, distante 280 km de Tokio, capital de Japón. La instalación se encuentra a 10 metros sobre el nivel del mar y está protegido por un dique o barrera antisunami de 5,7 metros de altura.

Está constituida por seis unidades, con una potencia instalada total de 4.700 MW, lo que la convierte en la décimo-quinta planta nuclear más grande del mundo y la segunda más grande de Japón. Sus seis reactores son de agua en ebullición (*Boiling Water Reactor*, BWR) cuyo vapor, producido en el interior de la vasija, acciona directamente el grupo turbina-generator correspondiente. La central tiene una unidad de 460 MW, cuatro unidades de 784 MW y una unidad de 1.100 MW. La estructura de contención de los reactores de las unidades 1 a 5 es del tipo Mark I —denominada “sarcófago”—, y tiene forma de ampolla con una base en forma de toro de revolución. El reactor de la unidad 6 tiene una estructura de contención similar al tipo Mark II.

Los reactores 1, 2, 4, 5 y 6 utilizan elementos combustibles con óxido de uranio ligeramente enriquecido ( $UO_2$ ), pero el combustible del reactor 3 está constituido por un 94% de elementos con óxido de uranio ligeramente enriquecido y un 6% de elementos con MOX, que es

**Tabla 1. Unidades nucleares de Fukushima Dai-ichi**

| Unidad | Potencia MW eléctricos | Fabricante del reactor | Arquitecto/Ingeniero | Inicio de la construcción | Operación comercial   |
|--------|------------------------|------------------------|----------------------|---------------------------|-----------------------|
| 1      | 460                    | General Electric       | Ebasco               | 25 de julio de 1967       | 26 de marzo de 1971   |
| 2      | 784                    | General Electric       | Ebasco               | 9 de junio de 1969        | 18 de julio de 1974   |
| 3      | 784                    | Toshiba                | Toshiba              | 28 de diciembre de 1970   | 27 de marzo de 1976   |
| 4      | 784                    | Hitachi                | Hitachi              | 12 de febrero de 1973     | 12 de octubre de 1978 |
| 5      | 784                    | Toshiba                | Toshiba              | 22 de mayo de 1972        | 18 de abril de 1978   |
| 6      | 1.100                  | General Electric       | Ebasco               | 26 de octubre de 1973     | 24 de octubre de 1979 |

una mezcla de óxido de uranio ligeramente enriquecido y óxido de plutonio ( $UO_2 + PuO_2$ ) (Covarruvas, 2011).

La tabla 1 indica, para cada unidad, la potencia eléctrica, el fabricante del reactor nuclear, el arquitecto/ingeniero y las fechas de inicio de la construcción y puesta en servicio comercial. El propietario de la central de Fukushima Dai-ichi es Tokyo Electric Power Company (TEPCO). Todas las unidades fueron construidas por la firma japonesa Kajima.

En 2008, el Organismo Internacional de Energía Nuclear (OIEA) advirtió a Japón de que Fukushima Dai-ichi había sido construida conforme a guías de seguridad ya obsoletas y que podría haber serios problemas durante un gran terremoto. Esta advertencia hizo que en 2010 se construyera un centro de respuesta para emergencias en caso de accidente nuclear que se utilizó durante el accidente de 2011.

En el momento del terremoto, las unidades 4, 5 y 6 estaban en situación de parada para mantenimiento planificado. Los reactores 1, 2 y 3 pararon de forma automática e instantánea y el calor residual del combustible nuclear empezó a ser evacuado con agua impulsada por el sistema de motobombas alimentadas

por los generadores diésel de emergencia. Sin embargo, el subsecuente *tsunami* de 14 metros sobrepasó la barrera de protección de la central, inicialmente de 5,7 metros que se redujeron por la subsidencia del terremoto en 0,7 metros, impactó en la central e inutilizó los generadores diésel de emergencia necesarios para enfriar los reactores. En las tres semanas siguientes se hizo evidente que parte del combustible nuclear de los reactores 1, 2 y 3 se había fundido (*fuel meltdown*); se produjeron explosiones visibles en las unidades 1 y 3, causadas por gases de hidrógeno; se comprobó que una explosión en la unidad 2 había dañado la estructura de contención de la vasija a presión; y las piscinas de refrigeración y almacenamiento de elementos combustibles de las unidades 1, 3 y 4 quedaron al descubierto. Las emisiones de radiación causaron la evacuación de la población en un radio de 20 km en torno a la planta nuclear, así como la contaminación local de agua, productos lácteos y hortalizas. El OIEA clasificó como nivel 5 (Accidente con Amplias Consecuencias) los sucesos en las unidades 1, 2 y 3, y como nivel 3 (Incidente Serio) los de la unidad 4. Durante las semanas siguientes se trabajó

**Tabla 2. Parámetros de diseño sísmico de plantas nucleares en Japón antes de 1973**

| Nombre de la Planta     | Ubicación | A    | B    | C   |
|-------------------------|-----------|------|------|-----|
| Onagawa                 | Miyaki    | 0,48 | 0,24 | 250 |
| Fukushima (N° 1, 2 y 3) | Fukushima | 0,48 | 0,24 | 180 |
| Hamaoka                 | Shizuoka  | 0,48 | 0,24 | 300 |
| Mihama                  | Fukai     | 0,48 | 0,24 | 300 |
| Takahama                | Fukai     | 0,48 | 0,24 | 270 |
| Shimane                 | Shimane   | 0,48 | 0,24 | 200 |
| Tokai                   | Ibaragi   | 0,48 | 0,24 | --- |
| Tsuruga                 | Fukai     | 0,48 | 0,24 | 250 |
| Genkai                  | Saga      | 0,48 | 0,24 | 150 |
| Fugen                   | Fuki      | 0,48 | 0,24 | 250 |

A: Coeficiente sísmico horizontal:  $g[C_0 \times 3 \times 0,8]$ .  
 B: Coeficiente sísmico vertical:  $g[C_0 \times 1,5 \times 0,8]$ .  
 C: Coeficiente sísmico horizontal dinámico.  
 $C_0$ : Coeficiente sísmico, para la mayoría de los casos igual a 0,20g.

**Tabla 3. Acelerogramas considerados por Uang y Bertero (1988)**

| N° | Terremoto                               | Registro                | Abreviatura | Componente |
|----|---|-------------------------|-------------|------------|
| 1  | Chile<br>3 marzo, 1985                  | Llolleo                 | CH          | N10°E      |
| 2  | Imperial Valley<br>18 mayo, 1940        | El Centro               | EC          | NS         |
| 3  | Ciudad de México<br>19 septiembre, 1985 | SCT                     | MX          | EW         |
| 4  | San Salvador<br>10 Octubre, 1986        | CIG                     | SS          | EW         |
| 5  | San Fernando<br>9 febrero, 1971         | Pacoima<br>Dam (Presa)  | PD          | S16°E      |
| 6  | San Fernando<br>9 febrero, 1971         | Derived<br>Pacoima Dam  | DPD         | S16°E      |
| 7  | Kern County<br>21 julio, 1952           | Taft                    | TF          | N21°E      |
| 8  | Miyagi-Ken-Oki<br>23 junio, 1978        | Tohoku<br>Ciudad Sendai | MO          | NS         |

intensamente en el enfriamiento de los reactores 1, 2 y 3 con agua de mar, y de las piscinas de refrigeración y almacenamiento de combustible con agua natural. Además, se trajeron generadores diésel de emergencia y se restituyó paulatinamente el abastecimiento eléctrico

desde la red eléctrica externa. Las unidades 5 y 6, ubicadas en el mismo emplazamiento pero alejadas de las unidades 1, 2, 3 y 4 no fueron afectadas negativamente por el terremoto ni por el *tsunami*.

En la tabla 2 se resumen los parámetros de diseño sísmico de plantas nuclea-

res en Japón antes de 1973. Como se puede apreciar en todas ellas, y en particular en las unidades 1, 2 y 3 de Fukushima Dai-ichi, fueron diseñadas con un coeficiente sísmico horizontal  $C_0 = 0,20$ , tres veces el recomendado para los edificios y reducido por un factor 0,8 de regionalización sísmica, resultando un coeficiente sísmico horizontal de 0,48g. El coeficiente sísmico vertical es la mitad del horizontal e igual a 0,24g.

Para el diseño sísmico de la unidad 1 se empleó el método dinámico considerando el espectro de respuesta del acelerograma Taft N21°E del terremoto de Kern County, California del 21 de julio de 1952 con un PGA = 0,18g. El acelerograma empleado fue, sin embargo, el menor de las dos componentes; la otra componente S69°E, no empleada, tiene PGA = 0,27g, mostrando la confusión mencionada entre PGA y  $C_0$  en la práctica japonesa.

El acelerograma empleado corresponde a una zona de intensidad Mercalli modificada de VII, con un potencial destructivo  $P_{DH} = 37,67 \times 10^{-4}g \times s^3$ , que es inferior a  $40 \times 10^{-4}g \times s^3$  que es el umbral de daño (Saragoni 1981), lo que confirma que el acelerograma empleado corresponde solo a un temblor fuerte y no al de un terremoto máximo creíble.

TEPCO informó haber registrado para el terremoto de Tohoku una PGA = 0,517g en dirección EW en la unidad 3 y una PGA = 0,44g en dirección EW en la unidad 6, informando además de que estos valores eran cercanos a  $C_0 = 0,48g$ , por lo que eran satisfactorios, confundiendo en el informe PGA con  $C_0$ , de acuerdo a lo comentado que ocurre normalmente en Japón. Los valores de PGA son inferiores al PGA correspondiente a este  $C_0$  estimado en 1g; sin embargo, son muy superiores al PGA considerado para el diseño de la unidad 1.

El uso de un coeficiente sísmico horizontal igual a  $C_0 = 0,48g$  en el diseño

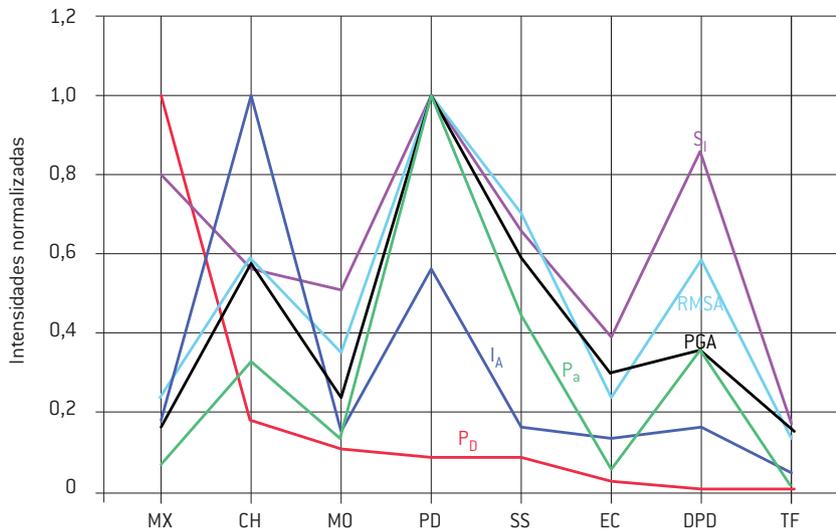


Figura 6. Comparación de intensidades instrumentales normalizadas para terremotos de gran magnitud [Uang y Bertero, 1988].

de las unidades 1, 2 y 3 confirma la mencionada influencia del método estático en la práctica japonesa y lo insuficiente del análisis dinámico considerado para la unidad 1.

### Limitaciones del PGA para predecir daños en plantas nucleares

Del análisis que se ha realizado en la sección anterior, se aprecia que para el análisis dinámico de Fukushima Dai-ichi se empleó el acelerograma Taft N21°E con PGA igual a 0,17g, dado que en esa época se postulaba que los PGA máximos de los terremotos eran de 0,30g como se aprecia en la columna C de la tabla 2.

En esta sección analizaremos las limitaciones del PGA para predecir el daño en plantas nucleares. En 1988 Uang y Bertero estudiaron la capacidad de daño de algunos acelerogramas de terremotos destructivos, y para ello compararon la capacidad de predicción de diferentes intensidades instrumentales de daño.

Los indicadores considerados por ellos fueron los siguientes:

- PGA: Aceleración Máxima Horizontal.

- $I_A$ : Intensidad de Arias.
- $P_D$ : Potencial Destructivo.
- $S_I$ : Intensidad de Housner.
- RMSA: Aceleración cuadrática media.

- $P_a$ : Potencia Sísmica de Housner.

Los acelerogramas considerados por Uang y Bertero (1988) son los indicados en la tabla 3.

Es interesante notar que el séptimo acelerograma de la tabla 3 corresponde a la componente Taft N21°E del terremoto de Kern County, considerado en el análisis dinámico de la unidad 1 de la planta.

En la figura 6 los autores ordenaron en abscisas los terremotos según su criterio de mayor a menor potencial destructivo observado, y en ordenadas el grado de predicción de cada una de las intensidades instrumentales consideradas. En las abscisas se indican los acelerogramas con la abreviatura de la tabla 3. Cabe destacar que, según este orden, aparece como última la componente Taft N21°E empleada en el análisis dinámico de la unidad 1 de Fukushima Dai-ichi. De todos los

acelerogramas considerados, salvo El Centro NS, el resto de los acelerogramas fueron registrados con posterioridad al diseño de las unidades 1, 2 y 3.

En la figura 6 (Bertero, 1992) se puede apreciar que el único indicador instrumental que sigue el orden de daño de los autores es el potencial destructivo  $P_D$  definido por Araya y Saragoni (1984).

$$P_D = \frac{\pi}{2g} \int_0^{t_0} a^2(t) dt \quad (2)$$

Donde:

$a(t)$  = aceleración del suelo.

$t_0$  = duración total de acelerograma.

$\nu_0$  = intensidad de cruces por cero y por segundo del acelerograma.

$g$  = aceleración de gravedad.

El potencial destructivo  $P_D$  también se puede expresar en términos de la intensidad de Arias  $I_A$ .

$$P_D = \frac{I_A}{\nu_0^2} \quad (3)$$

Donde  $I_A$  está definido como:

$$I_A = \frac{\pi}{2g} \int_0^{t_0} a^2(t) dt \quad (4)$$

Como se puede apreciar en la ecuación (2), la capacidad de daño de un terremoto está muy controlada por el número de veces por segundo que se cruza la línea base. Ello hace posible tener registros de aceleraciones con alto PGA pero sin daño observado, en el caso de registros con alta frecuencia; y también registros con bajo PGA pero con importante daño observado, debido a su contenido de frecuencias bajas.

Cabe destacar que el  $P_D$  de la componente Taft N21°E es solo  $P_D = 37,67 \times 10^{-4} \text{ g seg}^3$ , que es menor al umbral  $40 \times 10^{-4} \text{ g seg}^3$  en que se inicia el daño (Saragoni, Holmberg y Sáez 1989),

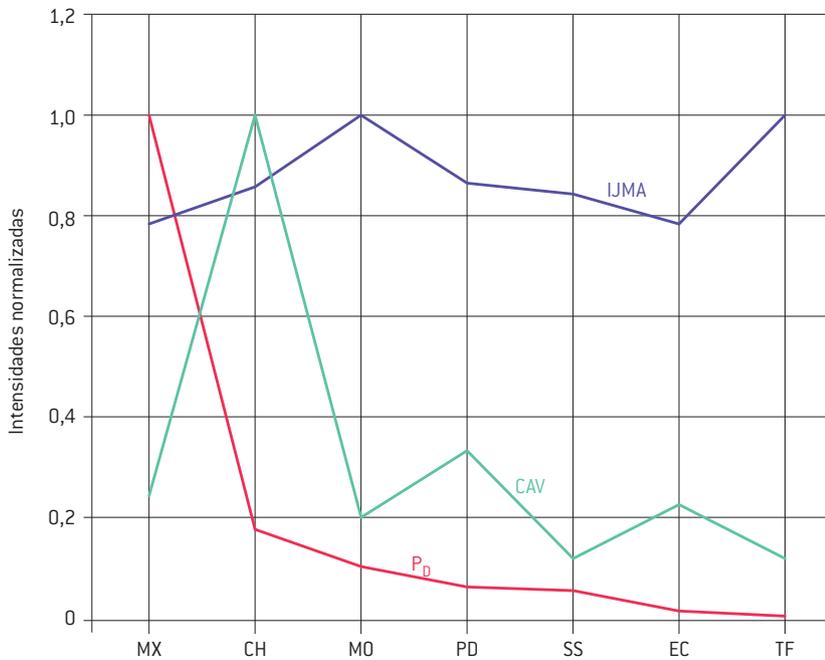


Figura 7. Comparación de intensidades normalizadas para CAV, IJMA y P<sub>D</sub>. Se aprecia que solo P<sub>D</sub> sigue el orden del daño observado en los terremotos.

confirmando que el registro empleado en la unidad 1 de Fukushima Dai-ichi corresponde solo a un temblor fuerte y no a un terremoto máximo creíble.

Adicionalmente, se han propuesto otras intensidades instrumentales para ser consideradas en el diseño sísmico de reactores nucleares: la intensidad instrumental japonesa IJMA y la aceleración absoluta acumulativa CAV.

$$CAV = CAV_i + \int_{t_{i-1}}^{t_i} ABS[a(t)]dt \quad (5)$$

El CAV tiene un comportamiento similar a la intensidad de Arias I<sub>A</sub>, por lo que no debiera esperarse que fuera un buen indicador de daño. Sin embargo, la definición original del CAV va orientada más bien a estimar el umbral del OBE (*Operating Basic Earthquake*).

En la figura 7 se comparan, junto al criterio de Uang y Bertero (1988), las predicciones del CAV, IJMA y P<sub>D</sub>, pudiéndose apreciar que solo el potencial destructivo P<sub>D</sub> ordena los terremotos según el daño observado. Es más, la inten-

sidad instrumental japonesa IJMA da el mayor valor a la componente Taft N21°E, empleada en el diseño sísmico de la unidad 1 de Fukushima Dai-ichi, siendo esta la única que registró un temblor fuerte.

En consecuencia, se recomienda revisar en el futuro los criterios de diseño sísmico basados en el PGA, CAV o IJMA por no ajustarse a la capacidad de daño observada de los terremotos.

### Conclusiones

Se ha mostrado que el diseño de las unidades de la central nuclear de Fukushima Dai-ichi se hizo empleando un criterio estático usando un coeficiente sísmico de 0,48 g, de acuerdo a la importante tradición de la escuela sísmica japonesa. Este coeficiente sísmico podría ser equivalente a un PGA del orden de 1g.

El diseño sísmico de la unidad 1 de Fukushima Dai-ichi consideró un análisis dinámico con la componente Taft 52 N21°E, con PGA = 0,18 g y P<sub>D</sub> = 37,67 × 10<sup>-4</sup> g seg<sup>3</sup>, que corresponde solo a un temblor fuerte y no a un terremoto

máximo creíble. El valor del PGA registrado durante el terremoto de 0,517 g superó el valor de diseño en casi tres veces.

En 2008 el OIEA había observado que el criterio de diseño sísmico de la planta Fukushima Dai-ichi era obsoleto e inseguro.

Se recomienda revisar en el futuro los criterios de seguridad sísmica de plantas nucleares existentes basadas en el PGA y/o CAV, comparándolo con las predicciones del potencial destructivo P<sub>D</sub> para los escenarios sísmicos máximos creíbles.

### REFERENCIAS

- Araya, R. and G.R. Saragoni. “Earthquake Accelerogram Destructiveness Potential Factor”, 8th World Conference on Earthquake Engineering, San Francisco, USA, 1984.
- Bertero, V.V., “Lessons Learned from Recent Catastrophic Earthquakes and Associated Research”. Primera Conferencia Internacional Torroja. 1989. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, Madrid. Julio 1992.
- Covarrubias, A. “Comunicación Personal”. Miembro Comisión Energía Nuclear. Colegio de Ingenieros de Chile. 2011.
- Heaton, T. and H. Kanamori”. Seismic potential associated with subduction in the northwestern United States”. Bull. Seism. Soc. Am. 74. N°3, 933-941, 1984.
- Saragoni, G.R. “Influencia de la Aceleración Máxima, Duración y Contenido de Frecuencia en los Daños Producidos por Terremotos”. Boletín de Información del Laboratorio de Carreteras y Geotecnia. Centro de Estudios y Experimentación, Madrid, España, N° 144. Marzo 1981.
- Saragoni, G.R., A. Holmberg y A. Sáez “Potencial Destructivo y Destructividad del Terremoto de Chile de 1985”, 5<sup>as</sup> Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Santiago, Chile, 1989, Vol.1. pp. 369-378.
- Uang, C.M. and Bertero, V.V., “Implications of Recorded Earthquake Ground, Motions on Seismic Design of Building Structures”. Report N° UBC/EERC 88/13 Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, California, U.S.A. November 1988.



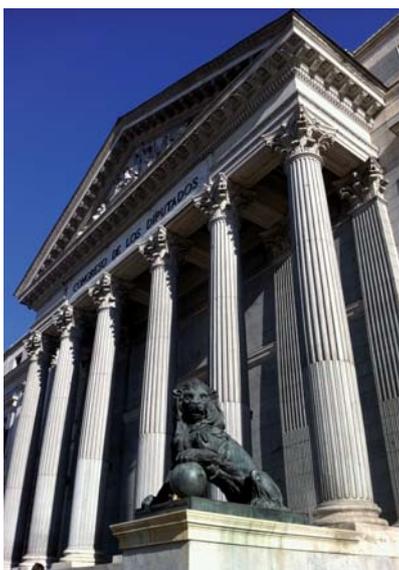
## El Gobierno nombra a Fernando Marti Scharfhausen nuevo presidente del Consejo de Seguridad Nuclear y a Cristina Narbona Ruiz nueva consejera

El Consejo de Ministros, celebrado el viernes 28 de diciembre de 2012, nombró presidente del Consejo de Seguridad Nuclear a Fernando Marti Scharfhausen en sustitución de Carmen Martínez Ten, cuyo mandato finalizó a principios de dicho mes (2006-2012). Además, el Gobierno nombró consejera del organismo a María Cristina Narbona Ruiz. Ambos nombramientos se produjeron tras la preceptiva comparecencia, celebrada el día anterior, de los candidatos ante la Comisión de Industria, Energía y Turismo del Congreso de los Diputados.

Fernando Marti Scharfhausen (Cartagena, 1955) se tituló como ingeniero de Minas en la Universidad Politécnica de Madrid y posteriormente realizó un Máster MBA en Economía y Dirección de Empresas por el IESE de la Universi-

dad de Navarra. Ha ocupado diversos cargos en el Grupo Inisel, Gyconsa y Repsol y fue vicepresidente de la Comisión Nacional de la Energía (CNE) desde 1999 hasta 2011, año en el que fue designado como secretario de Estado de Energía, cargo que desempeñaba en la actualidad.

Cristina Narbona Ruiz (Madrid, 1951), es doctora en Ciencias Económicas por la Universidad de Roma. Ha sido diputada en cuatro legislaturas y ha ocupado distintos cargos en la Administración General del Estado, entre los que destaca el de ministra de Medio Ambiente (2004-2008) y secretaria de Estado de Medio Ambiente (1994-1996). Entre 2008 y 2011 ha sido embajadora de España ante la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE).



## El CSN presenta al Congreso de los Diputados los informes 2010 y 2011 de actividades del organismo

De acuerdo con lo establecido en la Ley de Creación del Consejo de Seguridad Nuclear, el 29 de noviembre la presidenta del CSN presentó ante la Comisión de Industria, Energía y Turismo del Congreso de los Diputados los informes de las principales actividades desarrolladas por el organismo regulador durante los años 2010 y 2011. Como resumen general, Carmen Martínez Ten destacó que “el comportamiento del parque nuclear español ha sido correcto, manteniéndose el 75% del tiempo en la situación básica de normalidad”. En esos dos años, los ocho reactores en activo notificaron 66 y 69 sucesos respectivamente, en su mayoría clasificados como nivel 0 (sin significación para la seguridad)

en la Escala Internacional de Sucesos Nucleares. Solo uno de los incidentes de 2010 y cinco de 2011 fueron clasificados como nivel 1 (anomalía) en dicha escala.

Buena parte de su exposición estuvo dedicada al accidente sufrido por la central nuclear japonesa de Fukushima Dai-ichi, en marzo de 2011, y las acciones nacionales e internacionales puestas en marcha para reforzar la seguridad de las centrales nucleares europeas, las pruebas de resistencia realizadas, las revisiones inter pares que las analizaron y los planes de acción previstos. Durante el año y medio que duró este examen, más de 500 personas en España han estado involucradas en este proceso.

## El CSN realiza una visita técnica a Villar de Cañas

Un grupo de técnicos del CSN se reunió con los responsables de Enresa del proyecto del Almacén Temporal Centralizado, el pasado 4 de octubre, para conocer los resultados de los trabajos previos de caracterización y el desarrollo de las actividades en curso. También visitaron los terrenos donde se prevé ubicar la instalación y los sondeos que se están realizando.

La caracterización del emplazamiento consiste en un conjunto de investigaciones detalladas realizadas en superficie y en el subsuelo, encaminadas al conocimiento de todos los factores del entorno que podrían afectar a la seguridad de la instalación. Estos estudios son imprescindibles para valorar y confirmar la adecuación del emplazamiento y para definir el diseño detallado de la instalación.

Las actividades realizadas comprenden un conjunto amplio de estudios: sísmicos,

geológicos, hidrogeológicos, hidrológicos, meteorológicos, geotécnicos, topográficos, cartográficos, geográficos, ecológicos, así como socioeconómicos y de infraestructuras del área de influencia.

El Consejo de Seguridad Nuclear continuará realizando un estrecho seguimiento de los resultados de dichos trabajos que se estima finalizarán en marzo del 2013. ▶



JUAN J. MONTESINOS

## Detectadas bandejas contaminadas con cobalto-60 en el puerto de Algeciras

La Agencia Estatal de Administración Tributaria (AEAT) detectó el 29 de octubre la presencia de material radiactivo en un contenedor de transporte que una empresa española enviaba a Turquía desde el Puerto de Algeciras (Cádiz). Tras la caracterización radiológica del contenedor, realizada primero por personal de la AEAT y confirmada después por la Unidad Técnica de Protección Radiológica de Lainsa, se determinó que el radioisótopo emisor era cobalto 60. De acuerdo con el protocolo de actuación, el contenedor fue devuelto, debidamente precintado, a la empresa propietaria.

Posteriormente, la inspección del CSN, única autoridad competente para abrir el contenedor, midió uno a uno

todos los bultos que contenía el mismo y localizó un embalaje de cartón que contenía bandejas de metal y cuya tasa de dosis gamma en contacto era de 50 micro-Sv/hora. El CSN instó a la empresa propietaria a aislar las bandejas que tiene en stock (ocho) y a contactar con los clientes a los que había vendido las restantes (cuatro), de las cuales solo una se había vendido en España, para recuperarlas. Estas bandejas deben ser tratadas como residuo radiactivo, y la empresa propietaria tiene que devolverlas a su país de origen (India). Además el CSN ha requerido a la empresa la realización de estimaciones de las dosis recibidas por las personas que hayan estado en contacto con ellas. ▶

## Reunión bilateral con el organismo regulador de Rusia

Una delegación del CSN encabezada por su presidenta, Carmen Martínez Ten, y por su vicepresidente, Antonio Colino, se reunió en Moscú a principios de octubre con representantes del Servicio Federal de Supervisión Medioambiental, Industrial y Nuclear (Rostekhnadzor), el organismo regulador nuclear de Rusia. El encuentro tenía como objetivo impulsar el acuerdo bilateral firmado en noviembre de 1994, así como analizar y evaluar las acciones que ambas instituciones han puesto en marcha tras el accidente en Fukushima Dai-Ichi (Japón).

El presidente del regulador ruso, Nikolay Kutin, subrayó la importancia que para ambos países tiene la cooperación en cuestiones como la respuesta ante emergencias nucleares, el desarrollo normativo, el control de fuentes radiactivas, la gestión de residuos o la operación de centrales nucleares.

La presidenta del CSN destacó la importancia de la cooperación entre organismos reguladores de diferentes países, y explicó las competencias, estructura organizativa y el marco legal del Consejo. Por su parte, Antonio Colino explicó las acciones emprendidas tras el accidente de Fukushima, los resultados de las pruebas de resistencia realizadas a las centrales nucleares españolas en 2011 y el Plan de Acción nacional.

La reunión culminó con la visita a la fábrica de componentes Izhorskiye Zavody, en San Petersburgo, y la instalación de tratamiento de residuos Radon, en Sergiev Posad. ▀

## La Universidad de Cantabria organiza una jornada informativa sobre el radón

El 17 de noviembre se celebró, en la sede del Consejo de Seguridad Nuclear, una jornada informativa sobre el radón, organizada por la Universidad de Cantabria, que contó con una subvención concedida por el CSN para la difusión de los resultados del proyecto “Radón 10 × 10”, y realizada a través de un acuerdo de colaboración entre ambas instituciones. El acto fue inaugurado por el vicepresidente del CSN, Antonio Colino, quien destacó las cualidades que convierten al radón en un gas peligroso: es incoloro, inodoro e insípido; penetra en los hogares desde el subsuelo y si no se interponen medidas de protección, puede alcanzar niveles de concentración perjudiciales para la salud.

A lo largo de la jornada intervinieron Lucila Ramos, subdirectora de Protección Radiológica Ambiental del Consejo, que presentó las actuaciones llevadas a cabo por el organismo regulador para la protección frente al radón; José Luis Martín Matarranz, consejero técnico del CSN, quien explicó la



normativa desarrollada por el CSN en este campo y los criterios que se están considerando en la nueva directiva de la UE; Luis Santiago Quindós Poncela, catedrático de la Universidad de Cantabria e impulsor de esta jornada, que explicó los fundamentos del proyecto “Radón 10 × 10”; y, finalmente, Alberto Ruano Raviña, profesor de la Universidad de Santiago de Compostela, que señaló que el radón es el segundo factor de riesgo de cáncer de pulmón después del tabaco y la combinación de ambos factores multiplica exponencialmente el riesgo. ▀

## El CSN participa en la jornada “La I+D tras Fukushima”, organizada por CEIDEN

La plataforma tecnológica nacional de I+D de energía nuclear de fisión (CEIDEN) organizó en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid, el 15 de octubre, una jornada dedicada a “La I+D tras Fukushima”, en la que participaron Carmen Martínez Ten, presidenta del CSN, Antonio Colino, vicepresidente del Consejo y presidente de la Plataforma CEIDEN, y Rosario Velasco, consejera del CSN.

Antonio Colino recordó en la inauguración que el CSN dedica a I+D casi un 7% de su presupuesto, y que esta ac-

tividad no solo es importante para el sector nuclear sino también para trasladar sus avances a otras industrias. Por su parte, Rosario Velasco detalló las diferentes vías de investigación abiertas tras la realización de las pruebas de resistencia realizadas a las centrales nucleares europeas. Por último, Carmen Martínez Ten, encargada de clausurar la jornada, destacó la importancia de la I+D+i para la mejora de la seguridad en el uso de la energía nuclear. Tras la jornada se celebró la IV Asamblea General de la Plataforma Tecnológica CEIDEN. ▀

## Principales acuerdos del Pleno

### ■ Planes de protección física de las centrales nucleares y de la fábrica de Juzbado

En su reunión de 26 de septiembre de 2012, el Pleno del Consejo acordó por unanimidad informar favorablemente, con condiciones, las autorizaciones de protección física y los Planes de Protección Física (PPF) de todas las centrales nucleares en operación y de la fábrica de combustible de Juzbado.

Las propuestas realizadas por los titulares tenían por objeto la renovación de las autorizaciones de protección física por expiración de la validez de las autorizaciones vigentes el día 8 de octubre de 2012. Se cumple así la disposición transitoria única del Real Decreto 1308/2011, que establece que a partir de ahora la validez de estas autorizaciones de protección física se extiende al periodo de vigencia de la correspondiente Autorización de Explotación de cada instalación y deberá renovarse conjuntamente con la misma. Asimismo, las solicitudes de autorización de protección física, incluyen un nuevo Plan de Protección Física con el contenido mínimo especificado en el artículo 14 del mencionado real decreto y que se refiere a identificación de amenazas, medios técnicos, humanos y organizativos, emergencias y criterios de acceso del personal a los materiales nucleares.

### ■ Entrada en vigor de la revisión por ampliación del convenio de encomienda con el País Vasco

El Pleno del Consejo, en su reunión de 3 de octubre de 2012, aprobó por unanimidad el acta de entrada en vigor del acuerdo de revisión por ampliación del convenio de encomienda de funciones entre el CSN y la comunidad autónoma del País Vasco, en relación con sus apartados Primero c) y Quinto 5.2. d), g) y h), que aún no estaban vigentes.

Con la aprobación, se ponen en marcha de forma efectiva las nuevas funciones encomendadas a la Comunidad Autónoma del País Vasco mediante la revisión del acuerdo de encomienda firmada el 25 de noviembre de 2010, sobre la tramitación de licencias de personal de instalaciones radiactivas y la elaboración de informes para la homologación de cursos de formación para la obtención de las citadas licencias. El retraso en su puesta en práctica se debió a la necesidad de que am-

bas instituciones establecieran un protocolo para la protección de datos de carácter personal y la implementación de los procedimientos de gestión necesarios para que dicha comunidad autónoma llevara a cabo las nuevas funciones encomendadas.

### ■ Revisión del certificado del modelo de bulto de transporte HI-STAR 100

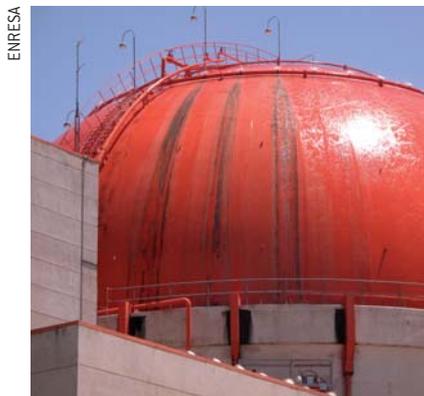
La Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, Enresa, solicitó la Revisión 1 del certificado del modelo de bulto de transporte HI-STAR 100, para permitir el transporte de elementos combustibles irradiados tanto de la central nuclear de Ascó, como de la central nuclear José Cabrera. En su reunión de 31 de octubre, el Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear acordó por unanimidad informar favorablemente la solicitud, con ciertos límites y condiciones.

Los cambios introducidos consisten en la modificación del diseño de los limitadores de impacto, la incorporación de un nuevo contenido, que es el combustible de Ascó, que originó cambios en los componentes internos del contenedor, y la modificación en la metodología de cálculo de la criticidad para el nuevo contenido. Los elementos combustibles de la central nuclear de Ascó son más largos que los de la central José Cabrera, por lo que existen diferencias en el diseño del contenedor interno del bulto, denominado MPC-32 (acrónimo de MutiPurpose Canister), frente al modelo ya licenciado para el combustible de José Cabrera, denominado MPC-32Z.

### ■ Recomendación realizada por el Comité Asesor para la Información y la Participación Pública

En su cuarta reunión, celebrada el 25 de octubre de 2012, el Comité Asesor para la Información y Participación Pública emitió la recomendación de realizar “estudios para identificar las expectativas de los grupos de interés relacionados con la seguridad nuclear y la protección radiológica en relación con la labor del CSN, y extraer las correspondientes acciones para avanzar en la transparencia, independencia y credibilidad, en línea con lo establecido en el Plan Estratégico 2011-2016”. El 31 de octubre, el Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear aprobó por unanimidad adoptar dicha recomendación. 

Información correspondiente al  
III trimestre de 2012



ENRESA

## Centrales nucleares

### Almaraz I y II

Número de sucesos (nivel INES)

— 0 (INES 0)

Paradas no programadas

— 0

Número de inspecciones del CSN

— 6

#### Actividades

— Durante el trimestre las dos unidades han funcionado de manera estable al 100% de potencia, excepto los días 3 a 6 de julio que se redujo la potencia nuclear de la unidad II al 81%, para la recuperación de algas en la presa de refrigeración de la planta.

— El CSN ha informado favorablemente la solicitud de Autorización de Protección Física y el Plan de Protección Física de la central, así como las revisiones de las ETF nº 108 (unidad I) y 101 (unidad II), así como el traslado de residuos radiactivos desde Areva Somanu (Francia) hasta Almaraz.

### Ascó I y II

Número de sucesos (nivel INES)

— 0 en Ascó I y 2 en Ascó II (INES 0)

Paradas no programadas

— 0

Número de inspecciones del CSN

— 10

#### Actividades

— Ambas unidades estuvieron operando al 100% de potencia nuclear durante el tercer trimestre, salvo bajadas parciales de potencia, el 10 de agosto en ambas unidades, por avalancha de algas en el Ebro; el 25 de agosto en la unidad I, por alta temperatura de los refrigeradores de hidrógeno del alternador; y el 24 de septiembre en la unidad II, por disparo de una bomba de drenaje de calentadores.

El CSN informó favorablemente la revisión 106 de las ETF de Ascó I y 105 de las ETF de Ascó II, la autorización de protección física según el Real Decreto 1308/2011 y el Plan de Protección Física de la instalación.

## Cofrentes

Número de sucesos (nivel INES)

— 0 (INES 0)

Paradas no programadas

— 0

Número de inspecciones del CSN

— 4

#### Actividades

— Durante el trimestre la central estuvo funcionando de manera estable a potencia, realizando bajadas parciales de potencia los días 7 de julio y 22 de septiembre, para cambio de secuencia de control de barras, y los días 7 de julio y 30 de septiembre para actividades de mantenimiento.

— El CSN informó favorablemente la solicitud de Autorización de Protección Física y el Plan de Protección Física de la central, la revisión 18 del Plan de Emergencia Interior y la propuesta de revisión del Manual de Requisitos de Operación en lo relativo a la protección contraincendios.

### Santa María de Garoña

Número de sucesos

— 0 (INES 0)

Paradas no programadas

— 0

Número de inspecciones del CSN

— 3

#### Actividades

— Durante el trimestre la central operó a plena potencia térmica.

— El 6 de septiembre venció el plazo para solicitar la renovación de la licencia de explotación sin que se presentara solicitud alguna, por lo que el plazo para el cese definitivo de la actividad queda establecido en julio de 2013.

### Trillo

Número de sucesos (nivel INES)

— 0 (INES 0)

Paradas no programadas

— 0

Número de inspecciones del CSN

— 4

**Actividades**

— Durante este periodo la central ha operado al 100% de potencia con normalidad.

— Se han elaborado propuestas de dictamen sobre la Autorización de Protección Física del Real Decreto 1308/2011, el Plan de Seguridad Física, el Plan de Emergencia Interior y de revisión de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento.

**Vandellós II****Número de sucesos [nivel INES]**

— 2 (INES 0)

**Paradas no programadas**

— 0

**Número de inspecciones del CSN**

— 5

**Actividades**

— Tras la decimoctava parada por recarga, la central arrancó el 2 de julio, se acopló a la red el día 10 y alcanzó el 100% de potencia el día 17. El resto del trimestre se mantuvo a plena potencia.

**Instalaciones del ciclo y en desmantelamiento****Ciemat****Pimic-Rehabilitación**

— Continúan las actividades de descontaminación de la dependencia de depósitos de la instalación IN-04 de Celdas Calientes Metalúrgicas.

**Pimic-Desmantelamiento**

— Prosiguen las actividades de descontaminación de los terrenos de la zona denominada El Montecillo y la demolición de las losas de hormigón y extracción de tierras afectadas del interior de la planta M-1.

— La nave del reactor desmantelado se encuentra operativa como almacén transitorio de residuos de muy baja actividad.

— También continúa la descontaminación de la celda F1, perteneciente a la antigua IR-18 Planta Caliente M1 y terrenos circundantes.

**Número de inspecciones del CSN**

— 2

**Centro Medioambiental de Saelices El Chico (Salamanca)****Planta Quercus**

— El CSN ha emitido un informe no favorable a la solicitud de prórroga de la situación de cese de explotación de la planta y ha requerido a Enusa que solicite de nuevo, en el término de un año, la autorización de desmantelamiento. Además, en el plazo de tres meses deberá presentar un programa con la planificación para la actualización del Plan de Desmantelamiento presentado en su día.

**Planta Elefante**

— Prosiguen sin incidencias las actividades asociadas al programa de vigilancia y control de aguas subterráneas y estabilidad de estructuras.

**Otras instalaciones mineras:**

— Se está finalizando la evaluación del informe final de obra de la restauración del emplazamiento de Saelices el Chico. Las demás minas restauradas se encuentran en periodo de cumplimiento bajo el control de los respectivos programas de vigilancia y mantenimiento.

**Inspecciones del CSN**

— 0

**Planta de concentrados de uranio de Retortillo (Salamanca)****Planta de Retortillo**

— Se está evaluando la solicitud presentada por la empresa Berkeley Minera España, S. A., para la autorización previa de una planta de concentrados de uranio localizada en Retortillo (Salamanca).

**Mina Retortillo-Santidad**

— De manera simultánea y asociada a la anterior solicitud, se está evaluando la solicitud del permiso de explotación minera de los yacimientos de uranio de Retortillo-Santidad ubicados en las cercanías de la planta de Retortillo.

**Fábrica de Uranio de Andújar****Actividades**

— El emplazamiento sigue bajo control, sin observarse incidencias. La instalación se encuentra en periodo de cumplimiento.

**Inspecciones del CSN**

— 0

**El Cabril (Córdoba)****Actividades**

— La instalación sigue bajo control, sin observarse incidencias significativas. Se han realizado las operaciones habituales para la gestión definitiva de residuos radiactivos de muy baja actividad, y de baja y media actividad.

— El CSN ha informado favorablemente la autorización de Seguridad Física y la revisión 4 del Plan de Protección Física.

**Número de sucesos**

— 0

**Número de inspecciones del CSN**

— 3

**Vandellós I (Tarragona)****Actividades**

— La instalación sigue en situación de latencia, sin observarse incidencias significativas.

**Número de inspecciones del CSN**

— 0

**José Cabrera (Guadalajara)****Actividades**

— Durante el trimestre continuó la segmentación de los internos de la vasija del reactor, y se realizó el corte de las ramas fría y caliente del circuito primario.

— En julio tuvo lugar el preceptivo simulacro anual de emergencia.

— Se está ultimando la puesta a punto de los almacenes temporales de residuos, que se han modificado para adaptarlos a su función durante la fase de desmantelamiento.

**Número de inspecciones del CSN**

— 2

## Juzbado (Salamanca)

---

Número de sucesos (nivel INES)

— 0 (INES 0)

Actividades

— Durante el trimestre, el CSN ha informado favorablemente la solicitud de Autorización de Protección Física y el Plan de Protección Física de la instalación, así como la modificación de diseño del Sistema de Protección contra Incendios y los cambios en las ETF y en el ES asociados.

— El 6 de septiembre se realizó el simulacro anual, con la participación de la ORE del CSN.

Número de inspecciones del CSN

— 3

## Instalaciones radiactivas

---

**Resoluciones adoptadas sobre instalaciones radiactivas (científicas, médicas, agrícolas, comerciales e industriales) en el intervalo del 1 de junio al 31 de agosto de 2012**

---

Informes para autorización de nuevas instalaciones

— 11

Informes para autorizaciones de modificación de instalaciones

— 58

Informes para declaración de clausura

— 9

Informes para autorización de servicios de protección radiológica

— 3

Informes para autorización de unidades técnicas de protección radiológica

— 3

Informes para autorización de retirada de material radiactivo no autorizado

— 4

Informes para autorizaciones de empresas de venta y asistencia técnica de equipos de rayos X para radiodiagnóstico médico

— 5

Informes para autorización de otras actividades reguladas

— 6

Informes relativos a la aprobación de tipo de aparatos radiactivos

— 4

Informes relativos a homologación de cursos para la obtención de licencias o acreditaciones.

— 24

**Acciones coercitivas adoptadas sobre instalaciones radiactivas (científicas, médicas, agrícolas, comerciales e industriales) en el intervalo del 1 de junio al 31 de agosto de 2012:**

---

Apercibimientos a instalaciones radiactivas industriales

— 0

Apercibimientos a instalaciones radiactivas de investigación y docencia

— 0

Apercibimientos a instalaciones unidades técnicas de protección radiológica

— 0

Apercibimientos a instalaciones de rayos X médicos

— 3

Apercibimientos a otras instalaciones reguladas

— 0

## Seguridad física

---

Actividades más relevantes

— Durante el trimestre, el CSN ha emitido los informes preceptivos sobre solicitudes de protección física presentadas por los titulares de instalaciones y materiales nucleares, de acuerdo con el Real Decreto 1308/2011.

— En colaboración con el Ministerio del Interior han continuado los trabajos para la definición de la Amenaza Base de Diseño.

— Se ha publicado la Guía de Seguridad 8.2 del CSN sobre elaboración, contenido y formato de los planes de protección física de instalaciones nucleares.

Cursos

Técnicos del CSN han sido instructores en los cursos para operadores del sistema Megaport en Vigo y Bilbao.

Número de simulacros

— 0

Número de inspecciones

— 2 (Almaraz y Ascó).

Actividades internacionales

— Reunión técnica sobre protección física del material nuclear durante el transporte, organizada por el OIEA.

— Reunión sobre formación de formadores en los Estados miembros de la Asociación Europea de Reguladores en Materia de Seguridad Física Nuclear, organizada por ENSRA y el OIEA.

— Reunión anual de los miembros del OIEA adheridos a la base de datos de tráfico ilícito de materiales nucleares y radiactivos.

## Notificación de sucesos

---

Número de incidentes en instalaciones nucleares en una hora

— 1

Número de incidentes en instalaciones nucleares en 24 horas

— 6

Número de incidentes radiológicos

— 0

Hechos relevantes

— Ninguno.

## Emergencias

---

Activación de la ORE

— Durante este periodo no se ha activado la Organización de Respuesta ante Emergencias del CSN.

Otras actividades relevantes

— En el marco de la implantación de la Directriz Básica de Protección Civil ante Riesgos Radiológicos, el CSN ha firmado convenios de colaboración con la Comunidad Autónoma de Madrid y con el Gobierno Vasco, y ha aprobado los convenios con Castilla-La Mancha y con la Comunidad Foral de Navarra.



WWW.CSN.ES

El 25 de octubre se celebró una jornada en la que se ofrecieron los resultados de las pruebas de resistencia realizadas a las centrales nucleares españolas y los correspondientes planes de acción. La información completa sobre la jornada, incluyendo las presentaciones de los intervinientes, se puede ver en: [http://www.csn.es/index.php?option=com\\_content&view=article&id=22681&Itemid=813&lang=es](http://www.csn.es/index.php?option=com_content&view=article&id=22681&Itemid=813&lang=es)



El Consejo de Seguridad Nuclear tiene asignadas funciones relacionadas con el control de los Planes de Emergencia Interiores (PEI) de las instalaciones, con la preparación de los Planes de Emergencia Exteriores (PEE) y con la gestión de determinadas actuaciones en caso de producirse una situación de este tipo. Entre estas se encuentra la coordinación de las medidas de apoyo y respuesta a las situaciones de emergencia, en todos los aspectos relacionados con la seguridad nuclear y la protección radiológica, con la colaboración de los diversos organismos y empresas públicas o privadas.

Entre las funciones asignadas al CSN se encuentra la coordinación de las medidas de apoyo y respuesta ante situaciones de emergencia nuclear o radiológica, en colaboración con otras instituciones y organismos. Un vídeo divulgativo explica cómo se actúa ante una emergencia y los simulacros que todas las instalaciones realizan periódicamente para comprobar la eficacia de los sistemas y la preparación de las personas:

[http://www.csn.es/index.php?option=com\\_content&view=article&id=74&Itemid=26&lang=es](http://www.csn.es/index.php?option=com_content&view=article&id=74&Itemid=26&lang=es)



Los resultados más recientes del **Sistema Integrado de Supervisión de Centrales (SISC)** se pueden encontrar en: <http://www.csn.es/sisc/index.do>



Para consultar las **actas del Pleno del CSN**, visite: [http://www.csn.es/index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=49&Itemid=74&lang=es](http://www.csn.es/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=49&Itemid=74&lang=es)



Puede acceder a los anteriores números de **Alfa, revista de seguridad nuclear y protección radiológica** en: [http://www.csn.es/index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=72&Itemid=157&lang=es](http://www.csn.es/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=72&Itemid=157&lang=es)



## PUBLICACIONES



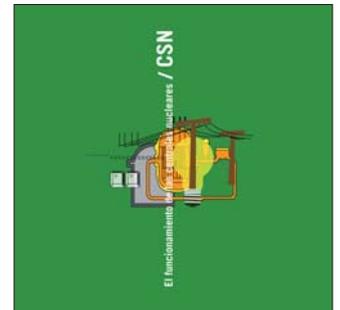
**Guía técnica del Consejo de Seguridad Nuclear para el desarrollo y la implantación de los criterios radiológicos de la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante Riesgo Radiológico**  
Colección Informes Técnicos 32.2012



**La dosimetría de los trabajadores expuestos en España durante los años 2008, 2009 y 2010**  
Estudio Sectorial  
Colección Documentos 21.2012



**Guía de Seguridad 8.2**  
Elaboración, contenido y formato de los planes de protección física de las instalaciones y los materiales nucleares



**El funcionamiento de las centrales nucleares**  
Serie divulgativa

**alFa** Revista de seguridad nuclear y protección radiológica

**Boletín de suscripción**

|                     |           |                    |
|---------------------|-----------|--------------------|
| Institución/Empresa |           |                    |
| Nombre              |           |                    |
| Dirección           |           |                    |
| CP                  | Localidad | Provincia          |
| Tel.                | Fax       | Correo electrónico |
| Fecha               | Firma     |                    |

Enviar a **Consejo de Seguridad Nuclear — Servicio de Publicaciones**. Pedro Justo Dorado Delmans, 11. 28040 Madrid / Fax: 91 346 05 58 / [peticiones@csn.es](mailto:peticiones@csn.es)

La información facilitada por usted formará parte de un fichero informático con el objeto de constituir automáticamente el *Fichero de destinatarios de publicaciones institucionales del Consejo de Seguridad Nuclear*. Usted tiene derecho a acceder a sus datos personales, así como a su rectificación, corrección y/o cancelación. La cesión de datos, en su caso, se ajustará a los supuestos previstos en las disposiciones legales y reglamentarias en vigor.



Pedro Justo Dorado Dellmans 11  
28040 Madrid (España)  
[www.csn.es](http://www.csn.es)

