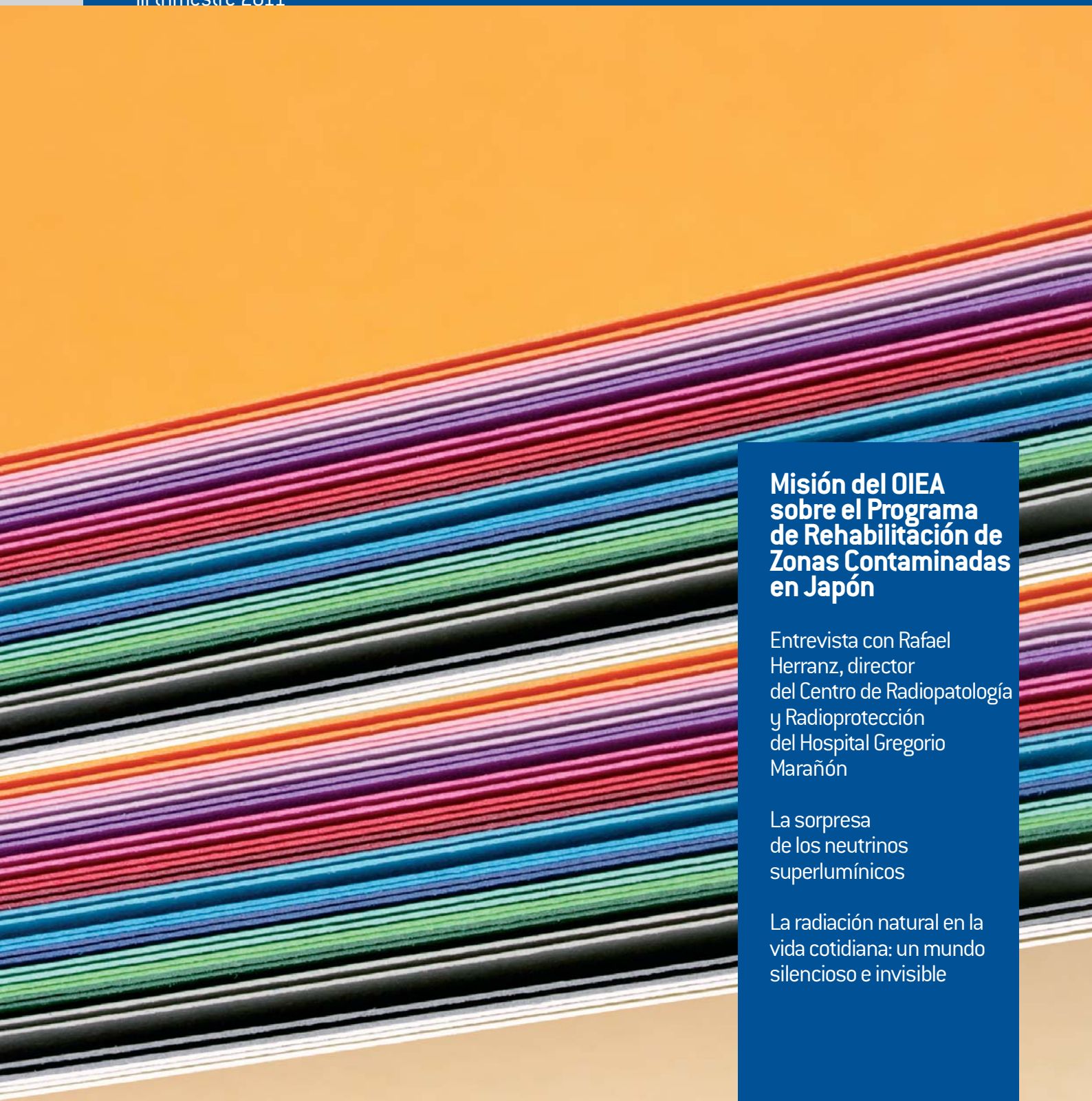
CSN

aLFa

Revista de seguridad nuclear y protección radiológica

Número 15
III trimestre 2011



Misión del OIEA sobre el Programa de Rehabilitación de Zonas Contaminadas en Japón

Entrevista con Rafael Herranz, director del Centro de Radiopatología y Radioprotección del Hospital Gregorio Marañón

La sorpresa de los neutrinos superlumínicos

La radiación natural en la vida cotidiana: un mundo silencioso e invisible

Post Fukushima

Japón sigue concentrando la atención de quienes se dedican a la seguridad nuclear y la protección radiológica. A la gestión que el Gobierno nipón realiza para conseguir el control definitivo de los reactores afectados por el accidente del pasado mes de marzo, se une la puesta en marcha de un plan para recuperar los terrenos contaminados y permitir el retorno a sus hogares de los habitantes desalojados. Este plan ha sido evaluado in situ por una misión especial del Organismo Internacional de Energía Atómica que, durante ocho días de octubre, mantuvo reuniones con todos los implicados y visitó las zonas afectadas. Esta misión estuvo formada por doce expertos internacionales y encabezada por el director técnico de Protección Radiológica del Consejo de Seguridad Nuclear, Juan Carlos Lentijo, quien detalla en un extenso artículo las características de la misión, el plan de rehabilitación y las conclusiones del trabajo realizado. Las repercusiones que el accidente está produciendo en España y en Europa, encaminadas a mejorar la seguridad de las instalaciones, son también objeto de especial atención dentro de la sección Panorama.

"Japón ha puesto en marcha un plan para recuperar los terrenos contaminados y permitir el retorno a sus hogares de los habitantes desalojados"

En el mundo de la física de partículas, un experimento ha suscitado una gran atención por parte de los científicos y también de los medios de comunicación de todo el mundo. Según los resultados presentados, unas partículas elementales denominadas neutrinos serían capaces de viajar a una velocidad ligeramente superior a la de la luz que, de acuerdo con la teoría de la relatividad de Einstein, es un límite infranqueable. Numerosos laboratorios se aprestan a reproducir el experimento para corroborarlo o, lo que parece más probable, detectar el error y desmentirlo.

Alfa aborda también en este número el funcionamiento de los Comités de Información, las reuniones que periódicamente se celebran en los municipios donde se ubican las centrales nucleares para informar a la población de las actividades relacionadas con la seguridad y el funcionamiento de las mismas. Convocados por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, se pretende potenciar la actividad de estos comités para mejorar el flujo de información hacia los ciudadanos. Otro reportaje se dedica a la radiación natural, con la intención de que la sociedad conozca mejor sus características y las actividades de protección radiológica que lleva a cabo el Consejo.

Se incluye también una entrevista con Rafael Herranz, responsable del Centro de Radiopatología y Radioprotección del Hospital Gregorio Marañón de Madrid, que desde 1985 está reconocido por el Ministerio de Sanidad, tras informe favorable del CSN, como el de referencia nacional para la asistencia a personas irradiadas o contaminadas por sustancias radiactivas.

Por último, publicamos un artículo de carácter técnico sobre el uso de los Análisis Probabilistas de Seguridad (APS) en el entorno de la radioterapia. Se trata de un sistema, empleado ya con profusión en otros campos, que pretende identificar y prevenir los riesgos latentes y escasamente representados en la experiencia acumulada sobre accidentes ocurridos en el empleo de las radiaciones en tratamientos médicos.

SUMARIO

REPORTAJES

4 La sorpresa de los neutrinos

Un experimento de física ha provocado, a finales de septiembre, una conmoción que ha rebasado los límites del ámbito científico para ocupar las portadas de los medios de comunicación. Sus resultados sugieren que las partículas denominadas neutrinos podrían viajar a mayor velocidad que la luz, contradiciendo un pilar fundamental de la ciencia contemporánea, la teoría de la relatividad de Albert Einstein.

The surprise of the neutrinos. At the end of September a physics experiment caused a shockwave that spread beyond the limits of the scientific world to erupt onto the front pages of the media. The results of this experiment suggest that the particles known as neutrinos might travel at speeds higher than the speed of light, thus contradicting one of the fundamental pillars of contemporary science, Albert Einstein's theory of relativity.

11 El primer eslabón de la transparencia

Los Comités de Información son instrumentos de comunicación creados para mantener informada a la población de los municipios situados en el entorno de las centrales nucleares del estado de dichas instalaciones. Se convocan por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, al menos una vez al año, y se pretende ahora mejorar su funcionamiento para conseguir una mayor eficacia en la consecución de sus objetivos.

The first link in the chain of transparency. The information committees are instruments for communication set up to keep the populations of municipalities located in the vicinity of nuclear power plants informed of the operational status of these facilities. They meet at least once a year, convened by the Ministry of Industry, and the aim now is to improve their operation in order to achieve greater efficiency in compliance with their objectives.

16 Un mundo silencioso e invisible

Las radiaciones de origen natural suponen el 87% de la dosis total de radiación ionizante que reciben, de media, los seres humanos. Hemos convivido con ellas desde nuestros más remotos orígenes, pero no por ser naturales carecen de riesgos, por eso son objeto de una intensa actividad investigadora para promover medidas de control más estrictas, cuando sea necesario, para evitar sus efectos sobre la salud y el medio ambiente.

A silent and invisible world. Natural radiation makes up 87 percent of the total ionising radiation dose received on average by human beings. We have lived with such radiation since our very earliest times, but the fact that they are natural does not mean that they are without risk. For this reason they are the subject of intensive research activities aimed at promoting stricter control measures, when required, to avoid their effects on health and the environment.

22 **RADIOGRAFÍA**

La formación de los operadores de centrales nucleares

Training of nuclear power plant operators

ENTREVISTA

24 Rafael Herranz, director del Centro de Radiopatología y Radioprotección del Hospital Gregorio Marañón: "Hemos recibido 107 personas con lecturas dosimétricas alteradas desde 1995, pero en la mayoría de los casos era un problema de medición"

El responsable del centro de referencia reconocido por el Ministerio de Sanidad para el tratamiento de personas irradiadas y contaminadas radiactivamente detalla el funcionamiento del mismo y las experiencias recogidas durante sus más de 25 años de actividad.

Rafael Herranz, director of the Gregorio Marañón hospital Radiopathology and Radiological Protection Centre: "We have dealt with 107 people with altered dosimetry readings since 1995, but in the majority of cases this has been a measurement issue".

The person responsible for the aforementioned centre, recognised by the Ministry of Health for the treatment of irradiated and radioactively contaminated individuals, talks about its operation and the experience gleaned over more than 25 years of activity.

30 **PANORAMA**

ARTÍCULOS TÉCNICOS

37 Misión del OIEA sobre el Programa de Rehabilitación de Zonas Contaminadas en Japón

El Organismo Internacional de Energía Atómica envió en octubre una misión de expertos para conocer y evaluar el programa de rehabilitación que el Gobierno japonés ha puesto en marcha para permitir el regreso de los residentes en algunas zonas afectadas por el accidente de la central nuclear de Fukushima. Los resultados de la misión, encabezada por el director técnico de Protección Radiológica del CSN, reconocen la viabilidad, adecuación y seriedad del proyecto e incluyen algunas sugerencias para su mejora.

IAEA Mission on the Programme for the rehabilitation of contaminated areas in Japan. In October the International Atomic Energy Agency sent an expert mission to gain insight into and assess the rehabilitation programme implemented by the Japanese government to allow for the return of residents to certain areas affected by the accident that occurred at the Fukushima nuclear power plant. The results of this mission, which was led by the CSN Director of Radiological Protection, point to the viability, suitability and seriousness of the project and include suggestions for improvement.

47 Los métodos de análisis de riesgo en radioterapia: Análisis Probabilístico de seguridad (APS)

El conocimiento y las lecciones aprendidas sobre accidentes ocurridos en radioterapia resultan muy útiles para prevenir su repetición, pero existen otros riesgos no detectados hasta ahora. Para identificarlos y prevenirlos se han desarrollado métodos proactivos, como el Análisis Probabilista de Seguridad (APS) aplicado con éxito en otros campos.

Risk assessment methods in radiotherapy: Probabilistic safety assessment (PSA). The understanding of accidents that have occurred in radiotherapy and the lessons learned from them are very useful to prevent repetition, but there are other risks that have not been detected to date. With a view to identifying and preventing such risks, proactive methods successfully applied in other fields, such as probabilistic safety assessment (PSA), have been developed.

58 **EL CSN INFORMA**

70 **SISC**

72 **PUBLICACIONES**

aLFa

Revista de seguridad nuclear y protección radiológica

Editada por el CSN

Número 15 / III trimestre 2011

Comité Editorial

– Presidenta: Carmen Martínez Ten
– Vicepresidente: Luis Gámir Casares
– Vocales: Purificación Gutiérrez López, Juan Carlos Lentijo Lentijo, 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, José Luis Butragueño Casado, 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 y Javier Fernández

Impresión

Gráficas Varona
Polígono "El Montalvo"
37008 Salamanca

Depósito legal:
ISSN-1888-8925

© Consejo de Seguridad Nuclear

Fotografía de portada

iStockphoto

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

REPORTAJE

La sorpresa de los neutrinos

› **Alicia Rivera**,
Periodista científica,
redactora de *El País*.

Un experimento de física ha provocado, a finales de septiembre, una erupción de interés popular en prácticamente todo el mundo, desplazando incluso de las portadas de los medios de información los temas candentes como la crisis financiera mundial, las campañas electorales y los últimos resultados deportivos. Lo que está en juego es nada más y nada menos que un pilar fundamental de la ciencia contemporánea, la teoría de la relatividad, y la figura monumental de quien la propuso: Albert Einstein.

El experimento, realizado entre Suiza e Italia, ha medido lo que tardan los neutrinos, unas partículas elementales fantasmagóricas, en recorrer 730 kilómetros. Y la sorpresa, lo que ha suscitado el interés de miles de científicos y de millones de personas, es que, en ese recorrido, superan aparentemente la velocidad de la luz. Y ese "aparentemente" es una puntualización unánime de los científicos, incluidos los que han realizado el experimento. No es solo que, como siempre en Ciencia, haya que reproducir la prueba antes de estar seguros, sino que, en este caso, la sospecha general es que algo falla en el experimento de los neutrinos, que no pueden ser superlumínicos. El problema es que, al menos en las semanas siguientes a la presentación de esos datos desconcertantes, nadie ha encontrado el fallo. "Si estas medidas se confirman, puede cambiar nuestra perspectiva de la física, pero necesitamos estar seguros de que no hay otra explicación, más mundana, y eso requiere mediciones independientes", ha advertido prudentemente Sergio Bertolucci, director científico del Laboratorio Europeo de Física de Partículas (CERN).

Entre los especialistas se extendieron rumores inquietantes acerca de esos neutrinos un par de semanas antes de la presentación oficial de los resultados obtenidos en el detector, denominado *Opera (Oscillation Project with Emulsion-t Racking Apparatus)*, situado cerca de Roma y diseñado para detectar neutrinos enviados desde el CERN, junto a Ginebra. Los rumores anunciaban que los neutrinos parecían viajar a velocidades superiores al límite universal máximo establecido por la teoría de la relatividad especial, que es la velocidad de la luz (los famosos casi 300.000 kilómetros por segundo). Y no se trata solo de una teoría (con implicaciones profundas) sino que, en un siglo transcurrido desde que fue presentada por Einstein, en 1905, miles de experimentos y observaciones han demostrado con tremenda precisión que es correcta. Los reactores nucleares, la bomba atómica, la astronomía contemporánea, el GPS o tecnologías ya tan habituales como los satélites dependen del sabio alemán y su relatividad. Por otro lado, según la relatividad, con velocidades superiores a la de la luz se podría obtener y enviar información al pasado, los viajes en el tiempo no serían imposibles.

No es de extrañar, por lo tanto, que el revuelo y la expectación comenzase en la comunidad científica, entre los físicos, pero que se extendiese a la sociedad en general y se crease un revuelo de esos que la Ciencia protagoniza solo muy de vez en cuando.

Los científicos de Opera, puesto que en el experimento participa el CERN, quisieron presentar sus extraños resultados a bombo y platillo en ese prestigio-

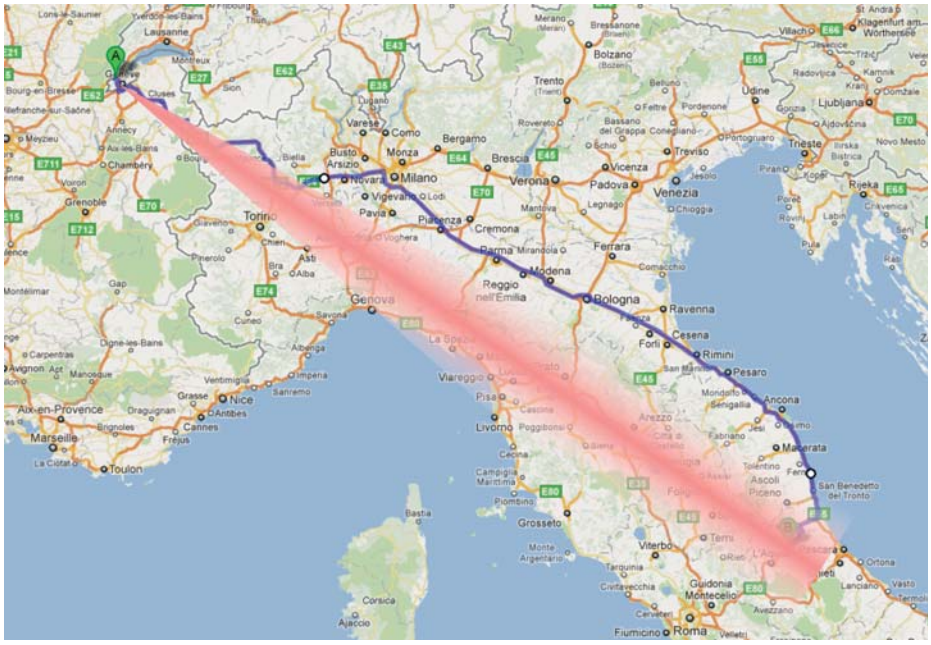
so laboratorio europeo. Pero en el CERN no se veían las cosas tan claras: si la velocidad superlumínica de los neutrinos fuera producto de un error, el laboratorio europeo haría un muy mal papel. Además, los investigadores de *Opera* no habían siquiera presentado formalmente un artículo científico explicando los detalles de su trabajo. Tras varios días de rumores, finalmente se tomó la decisión de que los responsables de *Opera* dieran una charla en el CERN sobre sus neutrinos superlumínicos pero solo después de presentar el famoso artículo (aunque aún sin el procedimiento habitual de revisión entre pares antes de su publicación) y ciñéndose a los datos y procedimientos del experimento, sin extraer conclusiones. Todos estos tira y afloja mostraban hasta qué punto eran todos conscientes del sensacional impacto que el anuncio iba a tener y de las incertidumbres acerca de su validez.

Así, a las 16 horas del 23 de septiembre, en el auditorio del CERN lleno hasta la bandera y con transmisión a todo el mundo vía Internet, Dario Autiero, físico de *Opera*, explicó los sorprendentes resultados obtenidos por el equipo. Pese a que algunos medios de comunicación sacaron a los titulares cuestiones como los viajes en el tiempo y la herida mortal a la teoría de Einstein, no se escuchó una palabra al respecto ni en la charla ni en el turno de preguntas, centrado en cuestiones técnicas.

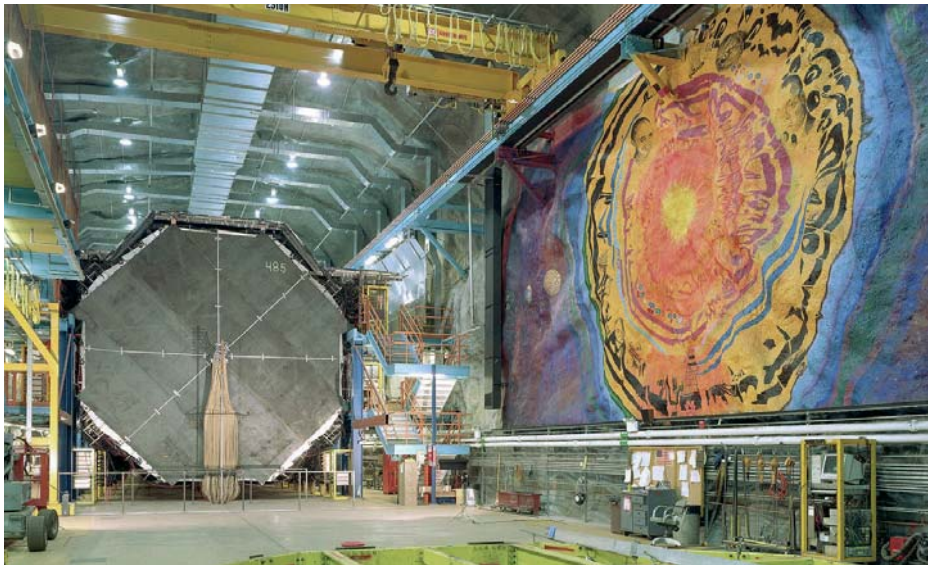
Dario Autiero durante la presentación de los resultados en el CERN.

Lo que explicó Autiero, básicamente es que, durante tres años (desde 2008 hasta 2011), con los registros en *Opera* de más de 15.000 neutrinos enviados desde el CERN, a 730 kilómetros de distancia, se ha observado que el tiempo empleado por estas partículas en cubrir el recorrido es 60 nanosegundos inferior al tiempo que tardaría la luz. Es decir, que en una carrera hipotética en que neutrinos y fotones de luz tomaran la salida a la vez, los primeros —viajando más deprisa— sacarían una ventaja de 20 metros a los segundos en esa distancia. La carrera es hipotética porque, al no haber obviamente un túnel o una perforación de 730 kilómetros desde Ginebra hasta los Apeninos, los fotones no podrían hacer el recorrido. Pero los neutrinos, sí que pueden, dado que apenas interactúan con la materia y atraviesan limpiamente todos esos kilómetros por la corteza terrestre sin inmutarse. "Hemos establecido una sincronización entre el CERN y Gran Sasso que nos da una precisión de nanosegundos y hemos medido la distancia entre los dos sitios [el de partida y el de llegada de los neutrinos] con un margen de error de apenas 20 centímetros", señaló Autiero.

La reacción de la comunidad científica, en el mismo CERN y fuera de él, fue de general escepticismo: algún fallo en el experimento o el análisis de datos provoca esa velocidad superlumínica. Incluso Stephen Hawking, tan proclive



Trayectoria de los neutrinos entre Ginebra y el Gran Sasso.



Detector *Minos* que intentará reproducir el experimento.

a comentar temas de lo más variado, en esta ocasión, estando en juego la relatividad de Einstein sobre la que es un reputado especialista, hizo una declaración escueta: "Es demasiado pronto para comentar esto, hacen falta más experimentos y aclaraciones".

Varias semanas después de la presentación de los resultados, no se ha identificado fallo alguno, pese a que se han propuesto ya casi un centenar de artículos sobre el asunto. No es que los científicos rechacen las sorpresas, al contrario, dado que, cada vez que la naturaleza presenta un truco nuevo y desconcertante, una faceta desconocida e imprevista de su funcionamiento, la Ciencia suele acabar obteniendo un conocimiento más profundo de cómo funcionan las cosas. La historia de la Ciencia está plagada de sorpresas, de experimentos con resultados inesperados, grietas que permiten derribar muros y ver más lejos o más profundamente.

Pero el caso de los neutrinos cuestiona algo, la velocidad de la luz como límite cósmico máximo, que no solo no presenta grietas hasta ahora sino que, además, se ha demostrado con extremada precisión en miles de experimentos. "No es la primera vez que se mide la velocidad de los neutrinos", explica el físico teórico Álvaro de Rújula. El resultado más preciso data de 1987, cuando llegó a la Tierra la luz de la explosión de la supernova 1987A, en la galaxia Nube de Magallanes situada a unos 150.000 años luz del Sistema Solar. "Tanto los neutrinos de la supernova 1987A como la luz de la explosión se observaron desde la Tierra. Y ambos vinieron a la misma velocidad, con una precisión en la medida 100.000 veces superior a la de *Opera*", añade este experto, puntualizando que los neutrinos de la supernova eran menos energéticos que los del experimento entre Suiza e Italia.

Hay que tener en cuenta que, si en los 730 kilómetros desde Ginebra hasta los Apeninos el *adelanto* de los neutrinos a los fotones es de nanosegundos, la ventaja de los primeros respecto a los segundos sería de años si vinieran de una galaxia lejana.

Los resultados de *Opera* "han sido una auténtica sorpresa", reconoció el portavoz del equipo, Antonio Ereditato. "Después de muchos meses de estudios y comprobaciones, no hemos encontrado ningún efecto instrumental que pueda explicar dichos resultados y, mientras seguimos la investigación, queremos también que se realicen mediciones independientes para evaluar con certeza esta observación".

Lo normal, por tanto, es repasar a fondo el experimento y, sobre todo, repetirlo en otro lugar. Nadie, ni los mismos investigadores de *Opera*, defiende que se trate de un jaque mate a la relatividad especial. Tan confusa es la situación, que incluso entre los más de 160 miem-

bros del equipo *Opera* no ha habido unanimidad respecto a la conveniencia de presentar los resultados de los neutrinos sin antes repasarlos más exhaustivamente aún y varios de ellos no firmaron el artículo provisional correspondiente.

El realidad, la medida de los neutrinos superlumínicos es un trabajo lateral respecto al objetivo primordial de *Opera*. Se trata de un detector diseñado para estudiar una extraña propiedad de esas partículas elementales, en concreto la capacidad que tienen de convertirse las de un tipo en otro cuando recorren largas distancias, la denominada oscilación. Este experimento, en concreto, está diseñado para investigar cómo los neutrinos del muón que se lanzan desde el CERN, llegan al detector situado bajo los Apeninos convertidos en neutrinos del tau.

Los neutrinos son similares a los electrones solo que con una notable diferencia: no tienen carga eléctrica y, por tanto, no les afectan las fuerzas electromagnéticas, razón por la cual son inmunes al electromagnetismo y apenas interactúan con los átomos, logrando así atravesar la corteza terrestre entre Ginebra y los Apeninos, o todo el planeta, o el Universo entero, como si apenas nada se interpusiese en su camino. Para ellos solo cuenta la llamada fuerza débil —una de las cuatro fuerzas de la naturaleza, junto con la fuerte, la electromagnética y la gravedad—. La fuerza débil es la responsable de las desintegraciones radiactivas y se producen neutrinos en cantidades ingentes en reacciones como las que hacen brillar las estrellas o las que se producen en los reactores nucleares.

Fue el físico teórico Wolfgang Pauli el primero en predecir la existencia de los neutrinos, en 1931, para explicar determinadas desintegraciones radiactivas en las que, según los cálculos de la mecánica cuántica, desaparecía una cierta cantidad de energía. La idea era que una partícula neutra, desconocida entonces, se *llevaría* esa energía. Tres años después, el italiano Enrico Fermi desarrolló una teoría más completa de las desintegraciones radiactivas utilizando aquella hipótesis de Pauli, y bautizó la misteriosa partícula neutra en italiano: neutrino. Pasaron 25 años más hasta que se vio experimentalmente esa partícula sin masa y asociada al electrón.

Detector de neutrinos *Superkamiokande* (Japón).

Más tarde, se descubrió una partícula como el electrón aunque más pesada, el muón, y resultó que también tenía un neutrino asociado pero de diferente comportamiento. Luego, en 1978, apareció la versión más pesada del electrón y del muón, el tau, y se asoció su correspondiente neutrino. Así que hay tres tipos de estas partículas fantasma que se producen en cantidades ingentes en el Universo.

Al ser el Sol una estrella, las reacciones de fusión nuclear en su interior producen neutrinos que llegan a nuestro

Física bajo tierra

La configuración del experimento *Opera* abarca dos grandes laboratorios, con gigantescos equipos, situados en dos países distintos: el CERN (junto a Ginebra), de donde parten los neutrinos, y el Laboratorio Nacional de Gran Sasso (LNGS), bajo los Apeninos italianos, donde está instalado el detector.

En el CERN, se genera un haz de protones (átomos de hidrogeno a los que previamente se han arrancado los electrones) del sistema de aceleración del LHC (Gran Colisionador de Hadrones) y se hace incidir ese haz contra un blanco de grafito para generar, por complejas desintegraciones, un haz de neutrinos muónicos apuntado hacia Gran Sasso. Los neutrinos atraviesan limpiamente la corteza terrestre, que es transparente para ellos, en su recorrido de 732 kilómetros hasta *Opera*. Los fotones (a la velocidad de la luz en el vacío de 299.792 kilómetros por segundos), cubrirían esa distancia en 2,4 milisegundos.

En el experimento de los neutrinos superlumínicos, los científicos utilizan un complejo sistema de sincronización mediante relojes atómicos en el CERN y en Gran Sasso para medir el tiempo que tardan esas partículas elementales en cubrir el recorrido, y un sistema avanzado de GPS para determinar la distancia con precisión (el error es de 20 centímetros en 732 kilómetros). Distancia y tiempo permiten calcular la velocidad de los neutrinos, que resulta ser, aparentemente, superior a la de la luz en 20 partes por millón. Los científicos han tenido en cuenta también el tiempo de respuesta de todos los elementos del detector y del sistema que envía los neutrinos desde el CERN. Incluso han contado con la deriva continental, movimientos geológicos y el efecto de la Luna sobre la corteza terrestre.

Opera (Oscillation Project with Emulsion-tRacking Apparatus) está instalado en la sala experimental C del LNGS (del instituto Nacional de Física Nuclear, Italia). Pesa 4.000 toneladas (como siete Airbus 380) y, con un volumen total de 2.000 metros cúbicos, está formado por 150.000 ladrillos de emulsión fotográfica ordenados en paredes que van intercaladas con capas de plomo y contadores de destellos. Un neutrino, de vez en cuando, interactúa con un átomo de plomo y sus efectos son vistos por el sistema de ladrillos de emulsión y los contadores, lo que permite, con todos los equipos electrónicos, cazar el neutrino y determinar sus características y trayectoria. *Opera* se empezó a construir en 2003 y se completó en 2008. Desarrollan los experimentos 160 investigadores de 30 instituciones de once países.

El LNGS aloja 15 experimentos en un laboratorio excavado en un lateral de un túnel de 10 kilómetros por el que una autopista cruza de lado a lado los Apeninos. Fue construido ahí, como otros laboratorios de física de partículas subterráneos, para aprovechar la roca como escudo protector de experimentos que requieren un bajo ruido de fondo. Los 1.400 metros de montaña sobre el LNGS reducen en un factor un millón, por ejemplo, el efecto del flujo de los rayos cósmicos. Trabajan en los experimentos de este laboratorio unos 750 científicos de 22 países.

planeta. Pero cuando se empezaron a estudiar esas partículas fantasma solares desconcertaron a los físicos por lo que se llamó el problema del déficit de los neutrinos solares, ya que se detectaban en la Tierra menos neutrinos de lo que señalaban los cálculos, lo que indicaba que, o fallaba algo en el conocimiento detallado de las reacciones nucleares solares, o algo importante se estaba escapando con los neutrinos.

Se construyeron laboratorios, incluido el de Soudan, en una antigua mina en Estados Unidos —donde ahora se va a reproducir el experimento de Opera— y la solución se fue tejiendo en varios experimentos en Europa, Japón, Rusia y Estados Unidos: la respuesta estaba en la oscilación. Los neutrinos pueden tener una masa extremadamente pequeña, adquirida en ese proceso por el que los de un tipo, en vuelos de largo recorrido, se transmutan en los de otro tipo. Y en el caso del Sol, una parte de los neutrinos del electrón que emite se convierten, en los 150 millones de kilómetros que recorren hasta la Tierra, en neutrinos del muón —y los del muón en los del tau—, de manera que los detectores terrestres, diseñados para ver neutrinos electrónicos, perdían los que habían cambiado de tipo, o de sabor.

La solución del déficit solar fue una satisfacción, pero el neutrino no perdió interés, al contrario, con el descubrimiento de su masa, aunque mínima, en las oscilaciones. Varios detectores específicos, con diferentes experimentos se pusieron en marcha y otros se están preparando para el futuro, diseñados para estudiar neutrinos de fuentes variadas (desde el fondo del Universo hasta procesos como supernovas o agujeros negros) y de diferentes energías. Algunos de estos experimentos consis-

La presentación de los resultados del experimento suscitó un enorme interés entre los científicos del CERN.

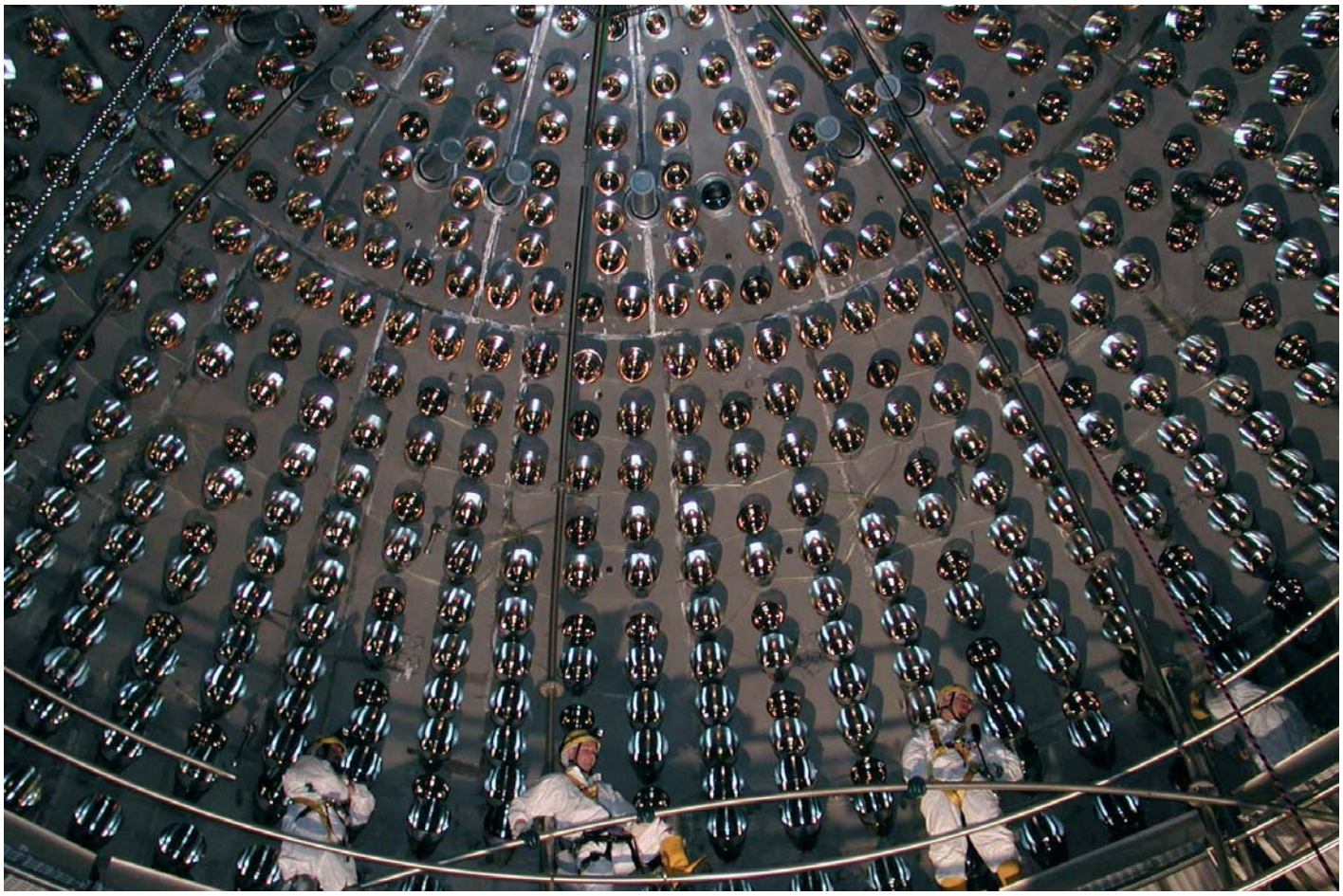
ten en interceptar neutrinos procedentes del cielo, mientras otros cuentan con una fuente artificial. En el caso de *Opera* o de *Minos*, el origen está en aceleradores de partículas que les lanzan haces de neutrinos, mientras que en otros casos, como en el T2K, en Kamioka (Japón), se miden neutrinos generados en una central nuclear.

Todos los detectores de neutrinos, independientemente del origen de las partículas, tienen en común un concepto básico: una inmensa cantidad de átomos (toneladas de agua pesada, de plomo, de hielo, de agua de mar o de otros materiales…) de manera que muy de vez en cuando un neutrino interactúa con uno de esos trillones de átomos vigilados (con diferentes sensores y sistemas electrónicos) y se hacen ver.

IceCube, que consiste en un kilómetro cúbico de hielo junto al Polo Sur, es el mayor detector de neutrinos del mundo. Está formado por más de 5.000 sensores ópticos capaces de ver la luz producida por la ocasional interacción de un neutrino con un átomo del agua helada. Los sensores están dispuestos en 86 líneas introducidas en el hielo, a profundidades de entre 1.450 y 2.450 metros de la superficie y se ha instalado allí para aprovechar el hielo del lugar, excepcionalmente transparente, sin burbujas y disponible en grandes cantidades. El telescopio capta los neutrinos que se generan en fenómenos violentos como las explosiones estelares, los estallidos de rayos gamma, los agujeros negros o la formación de estrellas de neutrones, aportando información sobre los mismos. La viabilidad de una instalación así se probó con éxito en su precursor de menor tamaño Amanda.

En lugar de hielo, utiliza agua de mar otro singular detector, el Antares, instalado en el Mediterráneo, cerca de la costa francesa. En este caso se trata de 12 líneas de unos 350 metros de longitud, cada una con 75 módulos ópticos, ancladas al fondo del mar, a una profundidad de unos 2,5 kilómetros y separadas unos 70 metros una de otra. En este caso, se observa el efecto de la interacción de los neutrinos con los núcleos atómicos en el agua.

En otras instalaciones el blanco del detector, los átomos con los que debe chocar un neutrino de vez en cuando, no es materia al natural, sino que está confinado. El SNO, por ejemplo, es un enorme depósito de agua pesada instalado a dos kilómetros de profundidad, en una mina en Sudbury (Canadá). En el laboratorio subterráneo de Kamioka, en Japón, a mil metros de profundidad también en una mina, se han desarrollado varios experimentos de neutrinos y actualmente fun-



Detector subterráneo de neutrinos bajo el Gran Sasso, en el centro de Italia, donde se lleva a cabo el experimento *Opera*.

ciona el potente Superkamiokande, una vasija de 40 metros de alto y 40 de ancho con 50.000 toneladas de agua pura y más de 10.000 sensores fotomultiplicadores. Tanto en IceCube, como en Superkamiokande, en Antares y en otros experimentos, siempre internacionales, participan especialistas españoles.

Desde luego los neutrinos han ganado una tremenda popularidad y todo parece indicar que la van a conservar en los próximos meses o años. Los científicos de *Opera* no están de brazos cruzados esperando respuestas de fuera, sino que se han puesto manos a la obra para mejorar su trabajo. Un problema que dificulta y enturbia los resultados presentados el 23 de septiembre es que en el experimento realizado se han podido aislar los neutrinos uno a uno a su llegada al detector italiano, pero no se ha podido identificar cuándo partió cada uno del CERN. Los neutrinos se generan a partir de protones que se venían emitiendo en pulsos "largos", de 10 microsegundos, de manera que los expertos de *Opera* han establecido el momento de partida de los neutrinos mediante cálculos estadísticos.

Ahora, para ganar precisión en este parámetro, se ha puesto en marcha una nueva fase del experimento en la que se disparan pulsos cortos (de uno o dos nanosegundos) de protones en el CERN, dejando un mayor intervalo entre cada uno. Así se facilita la identificación certera del momento de partida de cada neutrino que llega a Gran Sasso.

Mientras tanto, los responsables del detector *Minos*, que registra en la mina de Soudan los neutrinos disparados desde el laboratorio Fermilab (en Chicago), a una distancia parecida a la que separa el CERN de Gran Sasso, han comenzado a mejorar su experimento para alcanzar la precisión de mediciones de *Opera* y poder así verificar independientemente el sorprendente resultado. También Japón se prepara para realizar el ensayo con su detector Superkamiokande, pero la distancia que lo separa de la fuente de neutrinos es menor, y tal vez no sea suficiente para apreciar debidamente ese adelanto de los neutrinos, si es que existe. A la espera de los datos que todos estos experimentos de réplica aporten, los físicos contienen el aliento ante un caso que sigue abierto. Y es que si estas medidas fueran correctas, el impacto sería enorme. Según Jenny Thomas, investigador del detector *Minos*, "se derrumbaría todo lo que creemos que entendemos sobre la relatividad y la velocidad de la luz".

REPORTAJE

Los Comités de Información buscan revitalizarse implicando a la población

El primer eslabón de la transparencia

Seis centrales nucleares, con un total de ocho reactores, dibujan un importante cuadro energético a lo largo y a lo ancho del territorio español. En un radio de 10 km. a su alrededor, en la llamada zona I de los Planes de Emergencia Nuclear, viven más de 70.000 personas. A medida que el debate nuclear cobra nuevas fuerzas, y las centrales luchan por cambiar su mala reputación y reforzar las medidas de seguridad —en el ojo del huracán desde el accidente en la central de Fukushima—, la comunicación y la transparencia son la piedra angular de la labor llevada a cabo desde las instituciones. En primera fila y en contacto directo con quienes viven cerca de nuestros reactores se posicionan los Comités de Información. Después de sufrir algunas modificaciones desde su creación, este órgano de carácter informativo se enfrenta a un nuevo reto: cumplir con su principal objetivo y lograr establecer un puente con todos los hogares que se encuentran a la sombra de los gigantes que extraen energía de los átomos.

› Joana Branco,
Bióloga y periodista

Cae la noche en la Ribera del Ebro. Desde el cerro donde ha crecido el pueblo de Ascó, cuyas raíces llegan hasta la edad del bronce, el vapor de agua que emana del sistema de refrigeración de la central se divisa en el horizonte. Un paisaje al cual los vecinos están ya más que acostumbrados. La central nuclear, construida en el margen derecho del río Ebro, funciona desde finales de la década de los 80. Algunos sustos aparte, casi nadie piensa en ella como una amenaza. Es un vecino imponente, pero que ha traído prosperidad a este pequeño pueblo, de solamente 1.600 habitantes. Una realidad que tal vez justifique la escasa afluencia de población local a las reuniones de los Comités de Información.

Una vez al año —en el caso de que no haya ninguna incidencia que obligue a realizar una reunión extraordinaria, que sí suelen estar abarrotadas— el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (MITyC) convoca una reunión de carácter informativo en todas las áreas con centrales nucleares. Los Comités de Información, cuyos miembros son nombrados por el director general de Política Energética y Minas, están integrados por un representante del MITyC, en calidad de presidente del comité, un representante del Consejo de Seguridad Nuclear, de las delegaciones del Gobierno y comunidades autónomas, y también por un miembro de la Dirección General de Protección Civil y Emergencias, además de un representante del titular de la central. ¿Para qué sirven? Principalmente para hablar con la gente. Se busca dar a conocer a la población cómo ha discurrido el funcionamiento de la central a lo largo del año, explicar las incidencias que se han producido y contestar a las preguntas de quienes asisten. Escuchar las inquietudes y dudas de los vecinos y ofrecer respuestas es el empeño de todos los participantes.

En el Ayuntamiento de Ascó, el ambiente en la sala es distendido. Acuden a la reunión todos los integrantes de los comités, representantes de los ayuntamientos del municipio, y también algu-

Entrevista a Javier Arana

"La percepción de quienes asisten a los comités es positiva"

PREGUNTA: *¿Cómo valoraría la actividad de los comités? ¿Están cumpliendo con los objetivos?*

RESPUESTA: Sin duda, la evolución de los Comités de Información está siendo positiva. Pero no podemos mirarlos como algo estático, ni considerar que ahora que los tenemos ya no debemos preocuparnos de que la información llegue a la población. Los comités están sujetos a un análisis continuo, que nos permite evaluar si debemos o no introducir mejoras. Creo que son un instrumento muy válido para cumplir con la función de informar a los ciudadanos, y tenemos la obligación de sacarles el máximo partido.

P: *¿Qué aspectos cree que hay que reforzar?*

R: Hay que incentivar una mayor presencia en las reuniones por parte de la población. Cuando hay un elemento de preocupación por la ocurrencia de algún incidente, la afluencia es impresionante. La población está preocupada y quiere que se le informe. Sin embargo, si en el año anterior no ha habido ninguna incidencia significativa, la preocupación es mucho menor, y la presencia de la población en los comités también. En cualquier caso, debemos fomentar dicha presencia. Personalmente creo que otro elemento que debemos fomentar es que esa participación sea más activa. Sería bueno crear un clima distendido, de forma que la gente no sienta inhibición a la hora de hacer preguntas y pedir aclaraciones.

P: *¿Se están llevando a cabo iniciativas en ese sentido?*

R: Estamos preparando algunas acciones nuevas. Recientemente se realizó un estudio sobre la percepción social de los comités. Los resultados nos han indicado que mucha gente no conoce su existencia y se considera poco o nada informada. Para subsanar este problema estamos desarrollando una página web sobre los comités, para que en cualquier momento se pueda acceder a la información. Empezaremos también a publicar un boletín informativo, que recogerá los temas tratados en las reuniones, así como información que se considere de interés para las zonas alrededor de la instalación nuclear. Un documento sencillo, fácilmente entendible por cualquier persona, y que contribuya a difundir la existencia de los comités.

P: *¿Los ciudadanos entienden el mensaje que se difunde en las reuniones?*

R: Tenemos que partir de la hipótesis de que la información nuclear, en general, es una información que se suele dar de una forma y con una terminología muy especializada. Es importante saber transmitir esa información en un lenguaje sencillo y que la gente lo entienda. Es todo un reto. Si los ciudadanos asisten a las reuniones pero son incapaces de entender lo que se está contando, no volverán. Ésta es una asignatura pendiente en todo el sector nuclear.

P: *¿Cree que quienes asisten salen de la reunión confiando en la seguridad de las centrales y en la labor de las instituciones?*

R: Yo creo que sí. Creo que la percepción es positiva. Además, creo que a través de estas encuestas se reconoce el esfuerzo que se hace desde las administraciones, desde las instituciones y desde los propios comités.

Francisco Javier Arana, subdirector general de Energía Nuclear del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio

Comité de Información celebrado en Ascó el pasado mes de octubre.

nos representantes del área de sanidad y enseñanza, diversas asociaciones de la zona y medios de comunicación. La reunión empieza con una primera parte de carácter técnico. César Candás, director de la central nuclear de Ascó, resume los acontecimientos más significativos ocurridos en la instalación a lo largo del último año. Se detallan las incidencias, se habla de recargas de combustible, autorizaciones de explotación y convenios para el desarrollo de la comarca. Candás termina hablando de las numerosas visitas institucionales que reciben en la central a lo largo del año "en un esfuerzo por permitir a los ciudadanos conocer de primera mano su funcionamiento" y por eso colegios, asociaciones, medios de comunicación y otros grupos, como ocurrió este año con uno de diputados del Congreso, se acercan a conocer las instalaciones.

Sobre Javier Zarzuela, subdirector de Instalaciones Nucleares del CSN, recae la responsabilidad de exponer los resultados correspondientes al último trimestre del Sistema Integrado de Supervisión de las Centrales (SISC), sus indicadores de funcionamiento y la valoración de las inspecciones realizadas por el CSN. La última charla de la primera parte de la reunión le corresponde a la Dirección General de Protección Civil y Emergencias. Marta García Burgués y Elena Puertas presentan el funcionamiento de los Planes de Emergencia Exterior de la instalación, un tema que está en boca de todo el mundo desde el accidente en la central nuclear de Fukushima.

A pesar de los esfuerzos realizados a lo largo de los últimos años para mejorar la comunicación y la transparencia en el sector nuclear, todo es mejorable. Y eso mismo demandan quienes viven en el entorno de las centrales nucleares. Para Protección Civil, el reto al que se enfrentan estas reuniones es obvio, aunque no resulta fácil de solucionar. "La convocatoria no debe partir solamente de que es una reunión de un comité de expertos. Se debe plantear que la población es parte activa, y hacer hincapié en el hecho de que una reunión es un espacio de información, y no un acontecimiento académico. Es necesario que la gente se acerque a trasmitir sus inquietudes. ¡Hay que atraer a las personas!", defiende Elena Puertas.

Las reuniones informativas sobre el funcionamiento de las instalaciones han sufrido diversos cambios desde que se establecieran en 1972 con el Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas (RINR). En esa época, su existencia contemplaba solamente la fase de construcción de las centrales y solo se incluía al alcalde del municipio que albergaba la central nuclear como representante de la población. En el año 87, terminada la construcción de la central nuclear de Trillo, la más joven de las construidas en territorio español, los comités se enfrentaron a un largo paréntesis. Sin mecanismos eficientes de contacto directo con la población, la demanda de información por parte de los ciudadanos no paró de crecer a lo largo de los siguientes 20 años.

Vista de la mesa de una reunión del Comité de Información celebrado en Vandellós.

En 1999 se modificó el RINR, ampliando la existencia de las reuniones de los comités a todas las fases de la vida de una central: construcción, explotación y desmantelamiento. Se consideraron como un instrumento válido y eficaz, y su estructura y funcionamiento permanecieron inalterados.

Una década después de su nueva puesta en marcha se modificó su composición. Ante la insistente demanda ciudadana de más información sobre los planes de emergencia, se incorporó a las reuniones la Dirección General de Protección Civil. Además, se amplió también la presencia del ámbito municipal para que participaran representantes no solo del ayuntamiento donde se ubica la instalación sino también de los pertenecientes a la Asociación de Municipios en Áreas de Centrales Nucleares (AMAC), situados en un radio de 10 km alrededor de la central.

El pasado mes de abril, AMAC y el CSN firmaron un acuerdo específico de colaboración para el refuerzo de las políticas de información y transparencia en las zonas nucleares de España. El objetivo, omnipresente en todas las acciones de estas dos instituciones, es impulsar los comités, estableciendo políticas de comunicación eficientes. Sin embargo, para que las estrategias desarrolladas funcionen, hay que escuchar a los interesados. Ninguna estrategia de refuerzo es válida sin antes conocer qué falla, qué información llega o no llega a la población y cuáles los puntos débiles en el funcionamiento de estos comités.

Encuestas realizadas, por encargo de las dos instituciones a miembros de todos los Comités de Información, confirman la necesidad de mejorar los mecanismos de información y de participación pública. Por este motivo, y con el objetivo de ofrecer un diagnóstico de cómo ven los participantes en los comités el presente y el futuro de estas reuniones, la empresa de estudios sociológicos CERES realizó una serie de entrevistas, a miembros de todos los comités, cubriendo el conjunto de representación ciudadana que lo conforman. Los resultados reflejaron que hay mucho margen de mejora. Aunque existe la percepción de que los comités han ido a mejor entre los 34 encuestados, la mayoría mejoraría el conocimiento de cómo funciona este órgano de información, su frecuencia y estructura, y percibe su rol durante el comité como generalmente pasivo. Otra de las conclusiones del estudio subraya la necesidad de reforzar la divulgación ya que "se asemejan más a una clase magistral que a un espacio de participación".

Pero no todo son malas noticias. A pesar de las críticas, la percepción general es que la información que se pone a disposición de los ciudadanos y el afán de trans-

parencia, por parte de todos los implicados en el ámbito nuclear, ha ido a mejor. Más importante aún, las aportaciones dejadas por los entrevistados, cuando se les preguntaba qué iniciativas llevarían a cabo para mejorar la labor de los comités, constituyen una amplia fuente de propuestas y sugerencias de mejora.

En su mayoría hacen hincapié en la necesidad de que las reuniones sean un espacio de participación, abierto a la presencia y aportaciones de todo el que quiera asistir. Piden la inclusión de una charla fija sobre los planes de emergencia, una visita a la central nuclear, un mecanismo de evaluación de los comités, y que se creen otros canales de comunicación que permitan una relación activa y fluida entre los ciudadanos y las instituciones a lo largo de todo el año, accesibles a quienes no tengan disponibilidad para participar en las reuniones.

Un tema en el que todos están de acuerdo es que gran parte del problema reside en la falta de asistencia, por parte de los vecinos de las zonas afectadas, a las reuniones. Sin propuestas concretas en este aspecto, la mayoría de los encuestados pide que se hagan convocatorias más insistentes desde todas las partes.

Basándose en estos resultados los comités han apostado, una vez más, por el cambio. Ya han transcurrido tres años desde la última modificación de la normativa. Para Javier Arana, subdirector general de Energía Nuclear del MITyC, y presidente de los comités, "es el momento de reflexionar sobre la experiencia acumulada, y ver si hay que introducir modificaciones en el funcionamiento práctico de los mismos. Debemos abordar qué carencias tienen y analizar qué aspectos debemos intentar subsanar". Más allá de los resultados del estudio de opinión, Arana cree que quienes integran estos comités han podido valorar la experiencia y sacar conclusiones. Ahora, apuestan por "pegar un nuevo impulso para reforzar todos los aspectos que creemos mejorables. Empezaremos por abordar iniciativas para dar más difusión a la existencia de las reuniones, porque quizás no toda la población las conoce".

Algunas de las ideas aportadas por los ciudadanos se han incorporado ya. Desde 2008, en todas las reuniones, Protección Civil imparte una charla sobre los planes de emergencia de cada instalación, al tiempo que entrega folletos y recuerda la información que se puede consultar en su página web. El pasado mes de octubre, los Comités de Información de la central de Ascó y de Vandellós fueron los primeros en empezar a programar una visita a las instalaciones, en un esfuerzo por romper con la idea preconcebida de que las centrales son sitios inaccesibles, donde el peligro acecha en cada esquina. AMAC y el CSN trabajan ahora para abrir otras líneas de comunicación con la ciudadanía de los municipios en los que se desarrollan estos comités.

Aún no es suficiente

Francisco Moreno, alcalde de Trillo y presidente de AMAC, confía en establecer nexos de comunicación con la población desarrollando dos nuevas líneas de trabajo. La primera, consiste en un boletín informativo, que se distribuirá después de cada reunión. "Se editará al menos uno al año, pero nuestro objetivo es que sea una publicación semestral. En ellos explicaremos a la población el funcionamiento de la central, con resúmenes sencillos de los temas más relevantes tratados en las reuniones, además de recoger información que consideremos de interés para las zonas".

AMAC y el CSN trabajan además en la puesta en marcha de una página web: www.comitedeinformacion.es, donde estarán disponibles todas las ponencias realizadas en las reuniones, información adicional sobre energía nuclear y noticias de interés para las zonas de influencia de las centrales nucleares. Esta página, que estará *online* hacia finales de año, aspira a ser un foro abierto a la participación ciudadana, un lugar que recoja los temas que inquietan a la población, para posteriormente discutirlos en las reuniones. Para AMAC, "es una herramienta que permitirá a los ciudadanos verbalizar una duda de hace seis meses, y posteriormente olvidada, para que pueda ser tratada en la reunión".

La segunda parte de la reunión de un Comité de Información tiene un carácter más didáctico e informativo. En el último celebrado en la zona de Ascó, se dedicó un punto específico también al accidente ocurrido en la central nuclear de Fukushima Dai-ichi. Visto en directo y reemitido hasta la saciedad en todas las cadenas televisivas, lo ocurrido en Japón es obviamente un tema de interés para quienes viven cerca de una central. Javier Zarzuela explica qué ocurrió en Japón, ofreciendo al auditorio una cronología detallada del accidente, acompañada de imágenes del suceso. El objetivo es, no solo disipar miedos, sino también explicar el origen de la decisión de realizar una batería completísima de pruebas de resistencia en todas las centrales europeas.

En palabras de su presidente, "los comités son algo vivo, que se alimenta de sugerencias recibidas y de la experiencia acumulada". No obstante, se enfrentan a día de hoy a la necesidad de modernizar sus estrategias. "Lo que hay que hacer es llegar a la población", y es ese el objetivo de Rafael Vidal i Ibars, alcalde de Ascó, firme en sus intenciones de que "la información llegue a todos los hogares y a todos los lugares estratégicos: bares, centros de mayores, asociaciones… Tiene que estar presente por todos los lados". A pasos de gigante, los comités vuelven a tener que ajustarse al cambio. Sus miembros lo tienen claro. "Hay una solución, y la vamos a poner en marcha".

REPORTAJE

La inevitable presencia de la radiación natural en la vida cotidiana

Un mundo silencioso e invisible

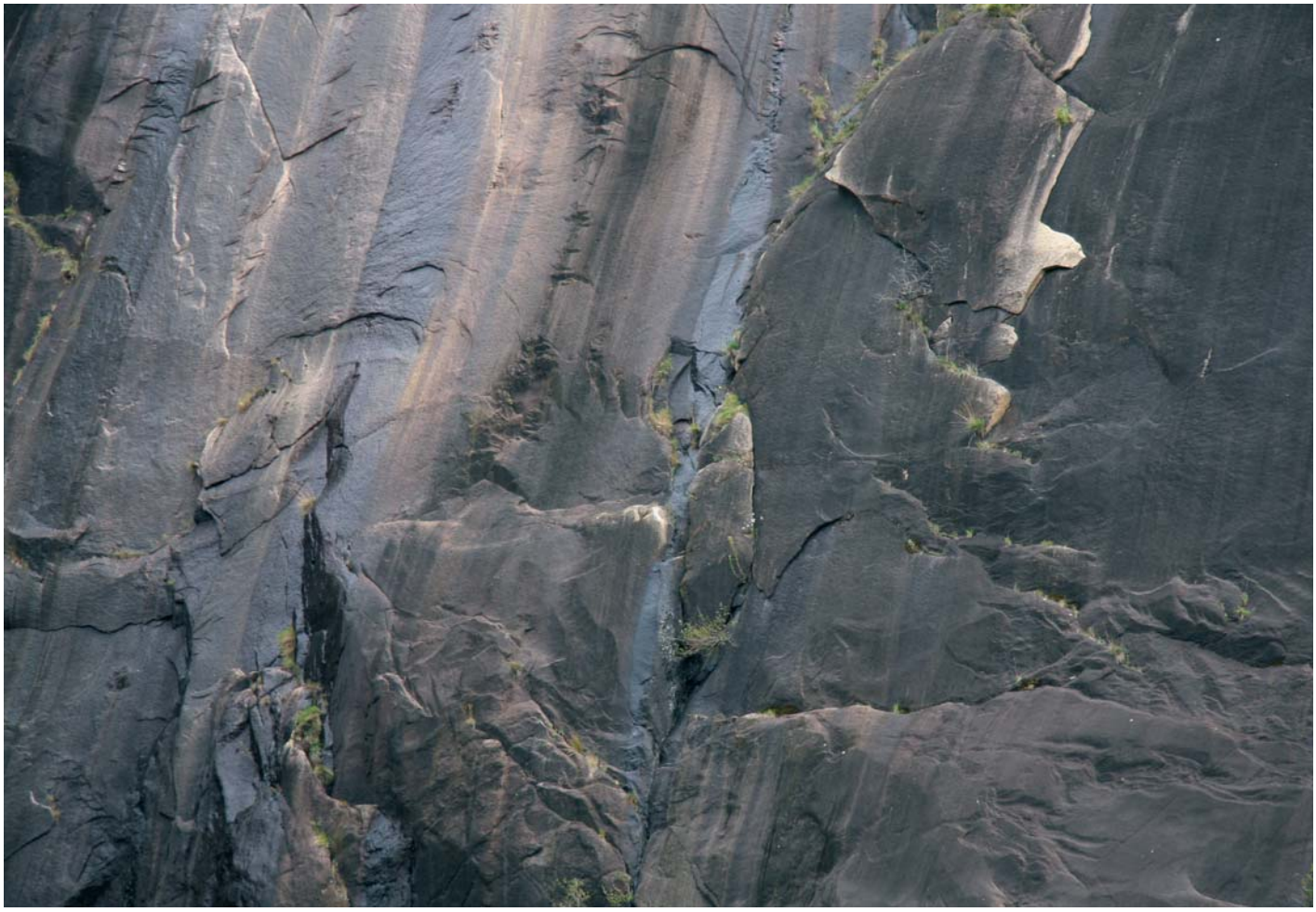
› Eugenia Angulo,
Química y
periodista científica

No se ven, ni se oyen, ni se sienten; pero nos rodean y suponen el 87 % de la dosis total de radiación ionizante que reciben, de media, los seres humanos. En su nacimiento nada ha tenido que ver la mano del ser humano sino razones exclusivas de la naturaleza. Y hasta que a finales del siglo XIX el Nobel de física Wilhelm C. Roentgen impresionara la mano de su mujer con un haz de rayos X de origen artificial, creando la primera radiografía, también eran las únicas que existían. Ese fondo natural radiactivo quedó eclipsado bajo el desarrollo de los usos médicos e industriales que siguieron a la generación de las radiaciones artificiales, pero siguen siendo la principal fuente de radiaciones que recibimos, y el que sean naturales no significa que sean inocuas. Por eso existe en la actualidad un gran interés por profundizar en su conocimiento y promover medidas de control más estrictas cuando sea necesario para evitar sus efectos.

Boyertown era una tranquila zona rural situada al noroeste de Filadelfia, Estados Unidos (EEUU), en la que el tiempo transcurría sin demasiados sobresaltos. Quizás, la llegada adelantada del verano o un invierno demasiado frío, alteraban levemente su habitual ritmo reposado, pero a finales del año 1984, algo cambió. Era diciembre cuando uno de sus ciudadanos, Stanley Watras, ingeniero en la cercana central nuclear de Limerick, hizo saltar la alarma por radiación durante varias semanas pero, y ahí la sorpresa, lo hacía al entrar en la central, no al salir. Las autoridades trataron de encontrar el origen de la fuente radiactiva y, tras asegurarse de que no había fugas en la planta, orientaron sus investigaciones al exterior.

Y no tuvieron que buscar muy lejos: en el interior de la casa del ingeniero detectaron una concentración de radón-222, un gas noble radiactivo, casi 2.000 veces mayor que los valores normales en EEUU. Este elemento procede de la desintegración del uranio-238 de muchas rocas, especialmente graníticas. Al tratarse de un gas, es capaz de colarse en las viviendas a través de las grietas y poros de las paredes y, en función de la composición y características de los suelos, alcanzar concentraciones elevadas en el interior de los edificios. Y eso es precisamente lo que ocurría en Boyertown. La tranquila zona rural al noroeste de Filadelfia descansaba sobre una inmensa masa de granito precámbrico con una concentración de uranio de hasta 80 partes por millón (ppm) cuando los valores típicos oscilan entre tres y cuatro.

El aire que se respiraba en el interior de la vivienda de Watras equivalía, según cálculos que se hicieron en la época, a fumar 135 paquetes de cigarrillos al día. Afortunadamente, el ingeniero y su familia solo habían vivido un año en la casa antes del descubrimiento de radón. La extraña circunstancia de Stan, el hombre radiactivo, se convirtió en el incidente Watras para los periódicos estadounidenses y agitó la preocupación de sus ciudadanos sobre los riesgos de la radiación natural sobre la salud acelerando las mediciones de los niveles de radón-



En las zonas graníticas, como las del este y noreste peninsular, es donde se genera más radón, principal fuente de radiación natural.

222 en el interior de las viviendas. Pero la novedad en este caso, ocurrido solo cinco años después del accidente en la central nuclear de Three Mile Island, es que la fuente de radiactividad no tenía nada que ver con la actividad antropogénica. Se trataba de cuestiones exclusivas de la exigente, sabia y eficaz naturaleza.

Mundo radiactivo

En el tiempo que transcurre entre dos latidos del corazón, en nuestro cuerpo se produce la desintegración radiactiva de casi 10.000 núcleos atómicos procedentes del aire que respiramos y de los alimentos y bebidas que consumimos. En nuestros huesos hay pequeñas cantidades de polonio-210 y radio-226; en nuestros músculos, carbono-14 y potasio-40 y en nuestros pulmones, gases nobles y tritio, también radiactivos. Cada hora, más de 200 millones de rayos gamma nos atraviesan procedentes del suelo y de los materiales de construcción. Y eso sin olvidarnos del cielo, desde el cual en ese mismo tiempo, recibimos unos 100.000 rayos cósmicos de neutrones y 400.000 rayos cósmicos secundarios subproducto de la interacción de las partículas subatómicas emitidas por agujeros negros, galaxias activas o explosiones de supernovas.

Y ni siquiera podemos presumir de exclusividad en el caso de los reactores nucleares. Hace casi 2.000 millones de años, en la cantera de Oklo, en Gabón, se puso en marcha un reactor nuclear espontáneo cuando la concentración de uranio-235, el combustible principal de las centrales, alcanzó el 3%, nivel suficiente, junto a otras circunstancias, para que se iniciara automáticamente una reacción en cadena que se mantuvo durante un millón de años.

Vivimos en un mundo rodeado de radiaciones aunque éstas no se vean, ni se oigan, ni se sientan. De hecho, hasta la invención del tubo de rayos X en 1895 por Roentgen, las únicas radiaciones que existían eran de origen natural. La radiactividad, el fenómeno por el cual algunos núcleos descargan el exceso de energía que contienen en su búsqueda de estabilidad, ha existido en la naturaleza desde que el mundo es mundo y los seres vivos nos hemos acostumbrado a vivir en esta bañera radiactiva que recibe el nombre de fondo natural. Incluso, algunas teorías científicas sostienen que esta radiación del entorno jugó un papel fundamental a la hora de alcanzar la im-

Durante los vuelos se recibe mayor cantidad de radiación cósmica.

prescindible diversidad biológica que ha permitido la evolución de las especies a través de modificaciones en sus genes.

La radiación natural tiene dos orígenes en su árbol genealógico: la radiación cósmica que alcanza la Tierra procedente del espacio exterior y la propia radiación del planeta. De la primera solo nos llega una fracción, ya que la mayor parte es detenida por el campo magnético terrestre que actúa como un gran escudo protector. La radiación cósmica varía con la latitud terrestre (siendo mayor en los polos que en el ecuador) y con la altura (es mínima a nivel del mar y duplica su intensidad aproximadamente cada 1.500 metros). Cuando la radiación cósmica interacciona con la atmósfera genera a su vez los llamados radionucleidos cosmogénicos: carbono-14, tritio, sodio-22 y berilio-7, fundamentalmente. La segunda, la radiación terrestre, se debe a la existencia desde hace más de 4.500 millones de años de elementos radiactivos naturales en su interior y en superficie, siendo los más significativos el uranio-238 y sus descendientes, el torio-232 y de ahí el potasio-40.

Así, la cantidad de radiación que recibimos procedente del entorno depende de factores que van desde la composición del suelo y los materiales de construcción utilizados, hasta la estación del año, la latitud, la altura, la actividad solar y, en cierta medida, las condiciones meteorológicas. Según el Comité Científico de Naciones Unidas sobre los Efectos de la Radiación Atómica (UNSCEAR, por sus siglas inglesas) la radiación de origen natural es la principal fuente de exposición a las radiaciones ionizantes, suponiendo un 87% de la dosis total que recibe el ser humano. Desde el año 1952 este organismo viene revisando los valores y estima que el ser humano recibe una dosis media de 2,4 miliSievert al año (el sievert, Sv, es la unidad que mide la dosis equivalente, es decir, la cantidad de energía absorbida por los tejidos humanos relacionada con el daño biológico que produce).

Estos valores presentan no obstante una gran variabilidad geográfica, pudiendo presentar diferencias de hasta más de un orden de magnitud entre habitantes de una misma región. Según este organismo, ciertas zonas de China, Estados Unidos, Brasil e India ricas en torio multiplican por tres las dosis media y zonas cercanas a la orilla del Mar Caspio en Irán también presentan un fondo radiactivo natural elevado.

En comparación, las fuentes artificiales —como las relacionadas con la radiomedicina (radiografías, medicina nuclear, radioterapias, exploraciones con marcadores), las centrales nucleares, los detectores de humos o los televisores— suponen el restante 13 %. De esta cantidad, la mayor parte se debe a tratamientos y pruebas médicas, sobre todo, técnicas de diagnóstico con rayos X (como las radiografías, ya que la dosis recibida por una radiografía de tórax es de 0,1 mSv). Los experimentos y los accidentes nucleares sólo contribuyen con el 0,4% del total, y la actividad de las centrales nucleares repercute en un factor 20 veces menor que éste. Según datos del UNSCEAR y de informes propios del Consejo de Seguridad Nuclear, la dosis media total para la población española, considerando ambas contribuciones, naturales y artificiales, oscila alrededor de los 3,5 mSv anuales.

Cartografía de la radiación

"Después del accidente de la central nuclear de Chernóbil surgió una inquietud por parte del Organismo Internacional de Energía Atómica, a la que posteriormente se sumó la Unión Europea, por saber cuál es el fondo natural radiológico de cada país", explica José Luis Martín Matarranz, consejero técnico del Área de Vigilancia Radiológica Ambiental del CSN. Este accidente, ocurrido en 1986, supuso un punto de inflexión que se reflejó en unas directivas internacionales más estrictas y en un interés por cuantificar, que es la forma científica de proceder, el fenomeno con precisión. Se instó a los países a realizar mapas de radiación natural que sirvieran para evaluar posibles incrementos en los niveles de

radiación respecto al fondo natural, tanto por causas naturales como artificiales.

A principios de los 90, el CSN y la empresa Enusa Industrias Avanzadas acordaron poner en marcha el proyecto Marna, para la realización de un mapa de radiación gamma natural, una de las formas de radiación ionizante con la que los nucleidos radiactivos descargan su exceso de energía. "En cuanto a radiación natural puedes hacer distintos tipos de mapas: un mapa geológico de base porque estamos diciendo que la radiación terrestre depende de la geología; un mapa de radiación gamma; un mapa de concentración de isótopos en el terreno; de concentraciones de radón en el terreno; de radón en el interior de las viviendas... En el caso del Marna es un mapa de radiación gamma en el que partimos de los resultados de las investigaciones que hicieron en el pasado la antigua Junta de Energía Nuclear y Enusa para la prospección de yacimientos de uranio", explica Martín Matarranz. Esta base de datos histórica incluía unas 250.000 medidas, a las que desde 1991 se han sumado las más de 2.000.000 nuevas medidas específicas, obtenidas en colaboración con varias universidades, con las que cuenta el proyecto en la actualidad.

Según explica Rosario Salas, jefa del Área de Vigilancia Radiológica Ambiental del CSN, los resultados que hasta ahora ha proporcionado este proyecto muestran que las zonas de radiación más elevada coinciden con la zona minera de Salamanca, oeste de Zamora, sur de Galicia, algunas zonas de Cataluña y Sistema Central, zonas graníticas que son las que presentan mayores concentraciones de uranio y torio, y por tanto, de radiactividad natural. En cambio, los entornos sedimentarios de origen marino de Levante y Andalucía son las zonas de valores más bajos. "Actualmente, estamos finalizando la última fase del proyecto, faltan por publicarse los mapas de Baleares, Canarias, Ceuta y Melilla. En el caso de Galicia, se realizó un Marna específico en el que participó la Xunta de Galicia en el cual se incrementó el número de medidas, pues se trata de una zona especial por la composición de sus suelos", puntualiza Salas.

El gas esquivo

Para la elaboración de estos mapas de radiación natural en el terreno, lo que se mide básicamente es la radiación gamma procedente de la serie de desintegración del uranio-238, del torio-232 y del potasio-40, los elementos radiactivos naturales más abundantes en el planeta. Sin embargo, existe un elemento intermedio, que deriva principalmente de la cadena de desintegración del uranio-238, que es el radio-226, que a su vez se desintegra dando lugar al radón-222, el gas noble radiactivo que trajo de cabeza a las autoridades en el caso del ingeniero Watras.

Al tratarse de un gas, el radón-222 es capaz de viajar por los poros del terreno hasta alcanzar la superficie donde puede diluirse con los otros gases de la atmósfera o colarse por el subsuelo y las grietas de las paredes al interior de los edificios y ser inhalado por sus habitantes. Además, el radio-226, padre del radón-222, también se encuentra en algunos de los materiales de construcción que se utilizan en las paredes, suelos y techos de las edificaciones, "El radón-222 no es en sí responsable de las dosis que se reciben, sino sus descendientes de vida corta,especialmente los dos emisores alfa que producen mayor ionización. El alcance de las partículas alfa es menor pero ionizan mucho más. Además, también es importante el tiempo de exposición: existe menos riesgo estando expuesto a una concentración muy elevada en un corto periodo de tiempo, que a concentraciones menos significativas durante tiempos largos", explica Martín Matarranz.

El radón supone aproximadamente el 50% de la dosis que reciben los seres vivos de fuentes naturales. Al ser inhalado, sus descendientes provocan irradiación interna en las células del tracto respiratorio por lo que instituciones sanitarias, como la Agencia Ambiental de Estados Unidas (EPA, por sus siglas en inglés) lo consideran la segunda causa de cáncer de pulmón, solo por detrás del tabaco. Además, está considerado como agente carcinógeno de primera categoría por la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer perteneciente a la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Por estos efectos sobre la salud, la Comisión Europea en sus normativas de protección radiológica, cada vez más estrictas está considerando la protección a las fuentes naturales de radiación. Aconseja en su Recomendación 90/143/EURATOM de 21 de febrero de 1990 que en las viviendas ya construidas se inicien acciones de remedio con un nivel de referencia de 400 Bq/m^3 de concentración media anual de radón, mientras que para las de nueva construcción recomienda como nivel de diseño una concentración de radón de 200 Bq/m^3.

"La fuente principal de la presencia de radón-222 en una vivienda es el terreno. El contenido de este gas y la permeabilidad del terreno son los dos factores que determinan la potencialidad de dicho terreno para exhalarlo y su mayor o menor presencia en un edificio, condicionada adicionalmente por el tipo de edificación. Países como Finlandia, Noruega, Suecia o la República Checa tienen más problemas de radiación natural por su geología y, por tanto, legislaciones más estrictas: cuentan con medidas de abastecimiento de agua en las viviendas, soluciones aislantes, como el uso de membranas bajo la zona de construcción, y sistemas de extracción en el interior. A veces la solución contra el radón, cuando las concentracio-

Algunos balnearios pueden ser una fuente de exposición, aunque tan reducida que no supone un problema para los usuarios.

nes no son muy elevadas es tan simple como ventilar, pero hay que considerar que la disminución de la presión en el interior del edificio incrementa la entrada de radón, por lo que esta técnica no es válida cuando existen concentraciones muy elevadas", argumenta Martín Matarranz.

Precisamente, con el objetivo de profundizar en el estudio de sistemas constructivos que puedan impedir la entrada de radón en los edificios o su eliminación cuando se encuentra en su interior, el Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas, en colaboración con la Universidad de Cantabria y el CSN, desarrolló recientemente un proyecto en el que ensayaron distintas medidas de actuación para reducir la presencia de radón-222 en un prototipo de vivienda. "En estos momentos se sigue trabajando para incorporar estos conocimientos y recomendaciones en el Código Técnico de la Edificación. También el CSN está participando en otro proyecto europeo para obtener un mapa del país basado en las medidas de la concentración de radón en viviendas con criterios uniformes para todos los países de la Unión Europea, de manera que los mapas puedan ser comparables", añade Salas.

Aviones, cuevas y balnearios

El enfoque básico en la protección radiológica consiste en proteger contra la fuente, la distancia o el tiempo. Sin embargo, viviendo inmersos en un mundo cuya naturaleza es radiactiva en sí misma, ¿cómo protegerse de las radiaciones que provienen de las estrellas del espacio? ¿Y del radón que se exhala de los suelos de los que forma parte? Afortunadamente y aunque las dosis que recibimos del entorno son de alguna manera inevitables, también son muy bajas: la dosis media anual que recibe una persona en España, incluyendo la radiación natural, es de 3,5 mSv, y hasta 500 mSv no se observan efectos claros sobre la salud. Además, la Tierra cuenta con mecanismos de defensa propios, como su campo magnético, y la atmósfera, y también el ser humano ha diseñado sus propias medidas de protección.

En 1996 la Comisión Europea aprobó una directiva (Directiva 96/29/EURATOM) en la que por primera vez reconocía la importancia de los riesgos radiológicos potenciales asociados a la exposición a fuentes naturales radiactivas. Esta directiva fue incorporada a la legis-

lación española en 2001 mediante el Real Decreto sobre el Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes (RPSRI), que supone el marco legislativo para la protección de los trabajadores y el público, incorporando la protección específica frente a las fuentes naturales en su Título VII.

"Básicamente el RPSRI hace una división de la protección en dos grandes grupos: las tripulaciones aéreas y el resto. Las primeras desde el primer momento fueron tratadas de una manera especial pretendiendo que se implantaran medidas específicas de protección porque los estudios internacionales ya demostraban que en determinadas circunstancias los trabajadores de vuelos comerciales podían recibir dosis por encima de 6 mSv, es decir, la dosis recibida en condiciones de trabajo era bastante significativa", explica Manuel Rodríguez Martí, subdirector de Protección Radiológica Operacional del Consejo.

La radiación del espacio exterior procede de todo el Universo pero fundamentalmente, la que llega a la Tierra viene del Sol: "Éste manda una radiación constante a la Tierra y tiene picos coincidentes con las tormentas solares. Cuando nos encontramos en un ciclo intenso, como el actual, se producen deformaciones del campo magnético terrestre y la incidencia de la radiación cósmica es mayor", añade Rodríguez. Esta radiación es casi insignificante a nivel del mar pero duplica su intensidad cada 1.500 metros, de manera que las tripulaciones aéreas pueden trabajar en altitudes en las que es unas 20 veces superior a la radiación media de fondo. "Sin embargo, las tripulaciones que realmente se ven afectadas son aquellas de vuelos comerciales de gran altura, por encima de los 8.000 metros, y larga duración, es decir, vuelos transcontinentales fundamentalmente", continúa.

En estos casos, el reglamento establece que las compañías aéreas calculen la dosis de radiación que van a recibir los miembros de su tripulación mediante programas de cálculo que consideran la altura del vuelo, la duración, la época del año o los ciclos de las tormentas solares. El primero de estos programas, el CARI, fue desarrollado por ingenieros de la NASA, que trabajó mucho en este asunto ya que sus astronautas se mueven fuera de la atmósfera terrestre. Más recientemente, la Unión Europea desarrolló un código propio, el EPCARD (European Programe Package for the Calculation os Aviation Route Dosis). En España, un acuerdo entre Iberia y el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat) sirvió para contrastar con medidas en vuelos la veracidad de las estimaciones obtenidas por los programas de cálculo.

"En caso necesario, si las estimaciones superan las dosis permitidas, las compañías tendrían que establecer turnos entre los tripulantes de los aviones pero no llega a ser necesario porque los niveles de radiación no son tan intensos como para eso. Así, cada compañía tiene su propio programa de protección radiológica y cada año nos envían un informe con las dosis que han estimado para cada trabajador", apunta Teresa Labarta, jefa del Área de Protección Radiológica de los Trabajadores del CSN.

El resto de los trabajadores y el público en general pueden estar sometidos a otro tipo de exposiciones. En primer lugar, la exposición al radón en lugares de trabajo como cuevas, balnearios o lugares con aguas termales. En estos casos la exposición del público no es importante pero la de los trabajadores, como guías turísticos, arqueólogos o empleados de los balnearios, tiene que ser considerada. En segundo lugar, aumenta la exposición en aquellos lugares en los que se produce concentración de radionucleidos de origen natural, como en la industria de extracción de hidrocarburos, las industrias cerámicas donde se utiliza circonio, las industrias donde se procesan fosfatos etc.…

"En ambos casos el reglamento indica que los titulares de dichas empresas estudien los niveles de radiación natural a los que están expuestos sus trabajadores. Esto se lleva haciendo desde el año 2001 de una manera poco eficiente, pero en noviembre de 2010 se aprobó una modificación al reglamento para hacer un inventario de todas las industrias nacionales, estableciendo unos registros en el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. A partir de ahí tienen que presentar unos estudios que nos llegarán a nosotros para que veamos cómo son las condiciones de exposición y la protección que proponen. Para ayudar en esta tarea, el CSN va a publicar una instrucción y una guía para dar orientaciones de qué es lo que hay que hacer y cómo", explica Rodríguez.

"Una cosa es que haya empresas que manejen material radiactivo y otra cosa es que eso suponga una dosis en los empleados como para que se incluyan en el sistema de protección de trabajadores. Por ejemplo, a lo mejor alguna empresa tiene problemas de exposición a radón y lo único que tiene que hacer es poner un ventilador", dice Labarta. El fondo radiactivo natural es pues un inevitable mundo invisible y silencioso que nos rodea por el hecho mismo de habitar en el planeta. Hay que conocerlo como se conoce a los habitantes de tu edificio, y protegerse de él cuando sea necesario, como se evita al vecino del quinto, pero el ser humano se ha acostumbrado a vivir en este mundo radiactivo natural que le rodea. Además, la Tierra le protege con su campo magnético y el ser humano ha utilizado sus capacidades para cuantificar, primero, y estudiar y diseñar después, normativa y tecnología que garanticen su seguridad. Podríamos decir que, en definitiva, el fondo radiactivo natural es el precio, bastante bajo, que hay que pagar por alquilar un planeta en el Universo.

La formación de los operadores de centrales nucleares

› **Antonio Munuera,**
subdirector de Ingeniería del CSN y presidente del Tribunal de Licencias

La operación de una central nuclear, entendida como toda maniobra que afecte a la reactividad (capacidad de controlar la población neutrónica del reactor), al nivel de potencia del reactor, a la integridad de las barreras frente a la liberación de material radiactivo o a los sistemas de seguridad, es un proceso que resulta fundamental para la seguridad de las mismas.

Por ello, de acuerdo con la instrucción IS-11 del CSN, sobre licencias de personal de operación de centrales nucleares, estos trabajadores deberán estar provistos de una licencia específica concedida por el Consejo.

Existen dos tipos de licencias: licencia de supervisor, que capacita para dirigir el funcionamiento de la central nuclear y licencia de operador, bajo la inmediata dirección de un supervisor. Teniendo en cuenta la existencia de distintos puestos de trabajo con cometidos relacionados con la seguridad, es posible solicitar y obtener licencias de operador limitadas al puesto de operador de turbina, al de operador del reactor de forma específica, o licencia de operador, que englobaría a las dos anteriores. Dado que las plantas tienen diseños y sistemas diferentes, la formación se ajusta estrictamente a esos diseños y las licencias son únicamente válidas para la central nuclear para la que son expedidas.

Para obtener una licencia la instalación debe presentar una solicitud, dirigida a la presidencia del CSN, para aquellos aspirantes que considere necesarios. Ésta se debe presentar al menos tres meses antes de la fecha del primer examen. Aceptada la solicitud por el Tribunal de Licencias de la instalación de la que se trate, se realizan las pruebas teóricas y, superadas éstas, los candidatos se someten a una prueba en un simulador de alcance total, adecuado y aceptado por el CSN

Simulador de la sala de control de la central nuclear de Almaraz (Tecnatom).

para la central nuclear para la que se solicita la licencia y posteriormente una prueba en la planta. Para superar las pruebas, los aspirantes deben obtener una calificación superior al 70% en todas y cada una de las áreas temáticas, y el resultado final debe estar por encima del 80%.

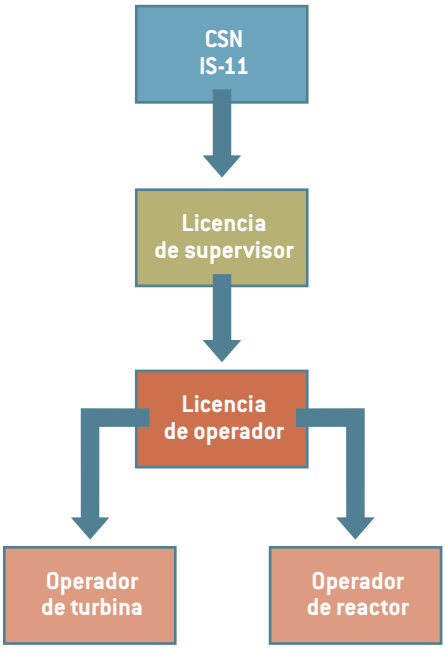
Cada sección del examen será eliminatoria, salvo que el Tribunal de Licencias considere aceptable la recuperación de alguna de sus partes, para lo cual el aspirante deberá seguir un entrenamiento programado por el titular de la central.

El Tribunal de Licencias está compuesto por un presidente y cuatro vocales: tres son expertos en el tipo de instalación para la que se solicita la licencia, uno de ellos propuesto por la central, y un cuarto vocal experto en seguridad nuclear o protección radiológica, que actua de secretario. Al realizar una solicitud, la central debe adjuntar los certificados de aptitud médica del candidato, así como la documentación sobre su titulación, experiencia y programa de formación que haya seguido.

Para optar a una licencia, el aspirante deberá tener una titulación universitaria de grado medio o titulación equivalente; ahora bien, para las licencias de operador de turbina, será suficiente una titulación no inferior a formación profesional tecnológica de segundo grado o ciclo formativo tecnológico de grado superior, complementada con una formación equiparable y adecuada en seguridad nuclear y protección radiológica, y experiencia en un puesto de personal auxiliar de explotación de la central. Los aspirantes a licencia de operador no necesitarán acreditar experiencia previa, pero, una vez sea concedida la licencia, el titular deberá programar un período de tutela en la sala de control por un operador experimentado. En el caso de los aspirantes a licencia de supervisor, será exigible una experiencia mínima de tres años como operador con licencia, aunque de forma excepcional se podrá aceptar una experiencia mínima de dos años.

Además, antes de realizar la solicitud, los aspirantes deben seguir un programa de formación establecido de acuerdo con la mencionada instrucción IS-11 que en la práctica supone entre un año y medio y dos años.

Las licencias de operador y supervisor se renuevan por seis años en el caso de las instalaciones nucleares, salvo que existan otras condiciones temporales que el Tribunal de Licencias considere oportunas. Los titulares de las licencias solicitarán tales renovaciones al menos dos meses antes de su fecha de caducidad. Para esta renovación se debe adjuntar una certificación del titular de la planta que acredite que ha permanecido ejerciendo con la debida competencia las misiones específicas de la licencia, que se han cumplido las condiciones de actividad establecidas y que, en caso de inactividad, no se ha superado el año y medio acumulado dentro del periodo que finaliza. Además, se debe certificar que se ha seguido el programa de formación y entrenamiento continuo, y que se mantienen las condiciones físicas o psicológicas.



En los ocho reactores nucleares que hay en España existen unas 400 licencias de operación. Actualmente, debido a razones laborales y a que las centrales en España se construyeron en la década de los 80, desde hace unos cinco años, se está inmerso en un intenso proceso de obtención de nuevas licencias. En el último lustro, se han solicitado al Consejo entre 20 y 30 licencias de operador cada año. De hecho, se prevé que en 2012 el CSN reciba 48 solicitudes de nuevas licencias.

Simulador de la sala de control de la central nuclear de Trillo (Tecnatom).

ENTREVISTA

Rafael Herranz Crespo, director del Centro de Radiopatología y Radioprotección del Hospital Gregorio Marañón

"Hemos recibido 107 personas con lecturas dosimétricas alteradas desde 1995, pero en la mayoría de los casos era un problema de medición"

› Ignacio F. Bayo
Periodista científico, director de Divulga

Rafael Herranz Crespo (Fraga, Huesca, 1943) se licenció en Medicina en 1968 por la Universidad de Zaragoza y se especializó en Oncología Radioterápica. Desde 1970 ha desarrollado su actividad profesional en el servicio de esta especialidad del Hospital Gregorio Marañón de Madrid, que dirige desde 1983. Por iniciativa suya se creó en 1985 en esta institución hospitalaria el Centro de Radiopatología y Radioprotección, convertido en centro de Nivel II de referencia nacional por el Ministerio de Sanidad, tras el informe favorable del Consejo de Seguridad Nuclear. Como tal, este servicio es el encargado de la asistencia a personas irradiadas o contaminadas en España. Como docente ha impartido clases en las universidades de Zaragoza (1968-1970), Bilbao (1972) y Complutense de Madrid (1973-2008), en el Departamento de Radiología y Medicina Física. Es director de la Escuela Técnico Profesional de la Salud de la Comunidad de Madrid y profesor de la Escuela Nacional de Protección Civil. Es miembro de la Sociedad Española de Oncología Radioterápica, de la Asociación Española de Investigación en Cáncer, de la Sociedad Española de Protección Radiológica y de la Sociedad Nuclear Española, y ha formado parte de las juntas directivas de estas dos últimas. Ha publicado numerosos artículos en revistas científicas y en libros de la especialidad y es ponente habitual en congresos nacionales e internacionales.

Rafael Herranz muestra al visitante la zona bunquerizada donde se ubican las instalaciones del servicio que dirige, situadas en el sótano del Pabellón de Oncología, del Hospital Gregorio Marañón, con la soltura de un guía turístico, mientras explica las características que permiten aislar a los pacientes tratados con implantes de fuentes radiactivas y que, si se da el caso, albergarían a las personas contaminadas en algún suceso nuclear o radiológico. El accidente sufrido por la central nuclear japonesa de Fukushima le ha obligado a atender decenas de peticiones de información por parte de los periodistas, acudir a programas de radio y televisión y dar pacientemente explicaciones claras acerca de los efectos de las radiaciones ionizantes sobre el organismo, pero la reiteración no parece agotar su paciencia. Se diría que disfruta enseñando, una y otra vez, las instalaciones y colocándose el delantal y el babero plomados con los que protege su cuerpo y su cuello de las radiaciones. Atender a los medios de comunicación forma parte de su tarea como responsable del centro de referencia nacional en cuestiones de Radiopatología y Radioprotección, y la demanda de los periodistas no es una novedad para él, porque se repite cada vez que se produce un suceso nuclear o radiactivo.

PREGUNTA: *Como centro de referencia ¿cuál es su papel en caso de contaminación radiactiva?*

Nuestra labor principal es el tratamiento de pacientes con radioterapia, y esto nos proporciona un entrenamiento continuo y completo para el tratamiento de una persona contaminada, pero esto no está previsto para recibir ningún tipo de emergencia nuclear masiva, porque tiene el tamaño que tiene. Si se diera el caso estamos perfectamente entrenados para manejar el tema, porque tenemos un equipo con 70 personas que están todos preparados para afrontar esta circunstancia y además contamos con un servicio de farmacia preparada para apoyarnos en caso de contaminación.

RESPUESTA: *¿Qué se debe hacer en caso de irradiación?*

Si hubiera una exposición externa importante, que afectara a gran parte del cuerpo a altas dosis, el tratamiento no sería aquí sino en la unidad de trasplante de médula ósea, o en las unidades de quemados, aquí o en cualquier otro hospital. Pero aconsejaríamos también ser consultados, por nuestra experiencia en el manejo de lesiones por irradiación. Y es que en este servicio estamos administrando hasta 150 sesiones de radioterapia cada día, y eso produce importantes secuelas, tanto a corto como a largo pla-

zo. Los efectos secundarios de las radiaciones sí se deben controlar desde aquí.

P: *¿En el caso de las personas contaminadas, serían tratadas en su servicio?*

R: Si es contaminada, seguro. Nosotros estamos por encima de los niveles 1, que son todos los servicios médicos de las centrales nucleares, de la fábrica de combustible de Juzbado, de los centros de procesamiento del uranio y de los centros de tratamiento y almacenamiento de residuos. Ellos son los que tienen que asumir la primera situación. Si pueden con ello, ahí se queda la cosa; si no, entramos nosotros, que somos el nivel 2.

P: *¿El procedimiento se acaba aquí?*

R: No. Si nosotros nos viéramos también sobrepasados, porque el o los afectados necesitasen un apoyo de investigación que nosotros no tuviéramos, nuestro centro de referencia a nivel 3 es el Instituto Curie, en París, que aparte de ser un hospital como este, tiene un gran centro de investigación en las afueras de París, donde nosotros hicimos una estancia allí larga y la verdad es que es excepcional en cuanto a recursos. Actualmente el nivel 3 de referencia es el Hospital Militar de Percy en París. Además, la parte oriental de Europa está cubierta por otro centro de nivel 3 que está en San Petersburgo, hay otro en Tennessee (EEUU) y otro en Japón (Tokio). Esos son los cuatro que están en el nivel 3. En cada país hay uno o dos centros de nivel 2 y en España es éste porque así se definió en el año 1984, aunque tenemos también el apoyo que nos puedan prestar otros hospitales. Lo esencial es que si los servicios médicos de los centros de nivel 1 tienen algún trabajador con algún problema consultan con nosotros y si les excede y no lo pueden solucionar, nos lo envían.

P: *¿Y les han mandado muchos?*

R: En ocasiones hemos visto algunas personas, fundamentalmente por lecturas dosimétricas alteradas, incluso muy alteradas, o por incremento de radiación en su entorno de trabajo. Nuestra obli-

"No hemos encontrado efectos cromosómicos por las radiaciones que reciben las tripulaciones de avión"

PREGUNTA: *El CSN contribuye también al mantenimiento de uno de sus laboratorios ¿no?*

RESPUESTA: Sí, se trata del Laboratorio de Dosimetría Biológica, en el que el hospital puso a disposición sus propios recursos de espacio y mano de obra médica y sanitaria, mientras que el equipamiento, como microscopios sofisticados, medios de cultivo, etcétera, se financia mediante convenios específicos, generalmente con el Consejo de Seguridad Nuclear, aunque también con otras instituciones, como un estudio que hemos hecho para Iberia y la Mutualidad Fraternidad-Muprespa.

P: *¿En qué ha consistido?*

R: En el estudio de los efectos de las radiaciones que reciben las tripulaciones de los vuelos transatlánticos. Fue un acuerdo que firmaron con el Gregorio Marañón, y coordinado por el jefe de los servicios médicos de Iberia, un representante de la mutualidad y yo.

P: *¿Cómo se ha hecho?*

R: A determinadas dosis aparecen lesiones en los cromosomas. En unos casos se trata de cromosomas policéntricos, habitualmente dicéntricos, que tienen dos o más centrómeros en comparación con los demás, y por otro las traslocaciones, en las que una parte de un cromosoma pasa a otro. En las personas normales puede haber entre una y diez traslocaciones, por encima de eso hay que pensar que algo lo ha provocado y uno de los factores es la radiación. Para hacer el estudio extraes sangre para obtener leucocitos, y miras hasta mil metafases de linfocitos por individuo. Luego lo comparas con curvas de referencia, hechas irradiando muestras previamente, y si no encuentras diferencias significativas quiere decir que no hay más radiación en esas personas.

P: *Y en este caso, ¿cuál ha sido el resultado?*

R: El estudio ha durado casi cinco años y hemos analizado más de mil células de cada individuo, con una muestra de 42 tripulantes y 38 empleados de tierra, para comparar, y el estudio estadístico, para que no hubiera dudas de independencia, se ha hecho en un organismo oficial en Londres, UK. Hemos encontrado que no hay diferencias significativas; tienen el mismo número de traslocaciones unos y otros y eso supone que el incremento de lesiones por degeneración cromosómica no existe. Esto tiene importancia porque de haberse detectado, además de suponer un problema de salud, se podría haber bajado la altura de vuelo a 8.000 metros, y eso incrementa el gasto de keroseno. El estudio se ha terminado a principios de este año y lo presentamos en febrero.

P: *Y además del daño cromosómico ¿puede haber otros?*

R: En principio este es el más significativo. Estas alteraciones son estables, duran, mientras que otras no, porque los cromosomas policéntricos son incompatibles con que la célula se divida, por tanto desaparecen; sin embargo estas traslocaciones permiten la división celular y se multiplican. Para radiaciones crónicas este es el estudio ideal, para radiaciones agudas, como las de accidentes, es mejor estudiar los policéntricos porque en las primeras horas ya te da información.

gación en estos casos es determinar si la dosis que se registra la ha recibido el dosímetro y la persona o solo el dosímetro. Muchas veces ocurre que se les dan dosímetros a las personas y no se les enseña el uso correcto. Hemos recibido a 107 personas desde 1995. Por tanto, en estos casos hemos actuado como centro de Radiopatología de nivel 2, o lo que es lo mismo, como servicio médico de tratamiento de irradiados.

P: *¿De dónde procedían?*

R: Fundamentalmente de instalaciones radiactivas, de la gammagrafía industrial y de los hospitales; personas portadoras de dosímetro personal en los que en una lectura mensual aparece de repente 700 o 900 miliSievert, e incluso recibimos un caso con 30 sievert, cuando uno ve esto último y la persona está allí, es evidente que no ha recibido esa radiación porque estaría muerto. Lo que hacemos es aplicarles la Técnica de Dosimetría Biológica.

P: *¿En qué consiste?*

R: Se extrae una muestra de sangre, se seleccionan los linfocitos, que son células de la familia de los leucocitos, que están en fase de especialización constante y no se reproducen, provocar su reproducción mediante cultivos, en el laboratorio, para llevarlos a la metafase, que es cuando mejor se ven los cromosomas, y entonces se hace una lectura de cada grupo y se leen hasta mil metafases de cada persona y si en

esas mil metafases aparecen dicéntricos o traslocaciones, contamos su número y lo comparamos con las curvas de referencia para rayos X, gamma y neutrones obtenidas en nuestro propio laboratorio. Después valoramos a la persona, teniendo en cuenta su edad y sus hábitos, especialmente si fuma, porque pueden modificar la presencia de traslocaciones. Si vemos que tiene seis traslocaciones, pues está dentro del gráfico de la población basal; y si tiene 66, vamos a las curvas y vemos a qué dosis recibida equivale.

P: *¿Qué resultados han obtenido en esos 107 casos?*

R: La mayor parte de las veces era un problema de medición. El caso de mayor dosis que hemos tenido, recibió 1,2 sievert a todo el cuerpo. Lo normal es que no haya un problema de salud pero sí de práctica en su trabajo, ya que o no está trabajando en condiciones adecuadas, o el aparato no está bien protegido, o no lo usa correctamente... Nosotros tenemos que enviar un informe al Consejo de Seguridad Nuclear, porque detrás de nuestra valoración está la inspección del Consejo, que valora cómo está el instrumento, la protección y la actuación. Ese es el circuito.

P: *¿Han tenido algún caso masivo?*

R: Participamos en el caso Chernóbil, para los españoles que estaban por aquella zona. Recuerdo que hubo gente que fue a un partido, creo que del Atlético de Madrid, y una oferta especial que hubo para visitar el campo de concentración de Auschwitz, en Polonia, cerca de Ucrania. Cuando regresaron y se enteraron del accidente, el Ministerio de Sanidad y el Consejo de Seguridad Nuclear, nos mandaron a 147 personas. Lo que hicimos fue poner encima de la mesa el mapa de donde estaban y pudimos tranquilizarles sobre las dosis que allí se habían medido. Luego hicimos medidas de yodo en tiroides con un detector portátil y en orina con un contador de centelleo, con lo que pudimos hacer informes individuales y un informe global que fue el que oficialmente aceptó el Consejo como propio.

P: *¿Y no hubo ningún afectado?*

R: No hubo ningún caso, incluso había dos embarazadas que luego nos trajeron sus bebés. Hubo otro caso también en el barrio de la Elipa de Madrid, donde se dejó abandonado en un contenedor la fuente de un detector de humos, que es de americio-241 amalgamado, y ese contenedor estaba justo a la puerta de un colegio. Cuando salieron los críos empezaron a jugar con aquello, incluso uno de lo llevó a su casa, y cuando las madres se enteraron exigieron que se les viera . El Consejo hizo una primera inspección y luego vinieron aquí, donde les aplicamos el protocolo de posible contaminación a través de la mucosa oral, revisamos bien y luego se recogió orina durante 24 horas y se envió al Ciemat para ver si se detectaba americio y no se detectó ninguna traza. Son dos ejemplos clásicos de para qué estamos.

P: *Imagino que hay protocolos de actuación ante estos casos.*

R: Los manuales del OIEA están por encima de todo, pero nosotros hemos hecho y editado una guía clínica. Y ahora se está haciendo un curso *on line* en el que yo en su día colaboré, en formato DVD multimedia , y que editó Protección Civil. Se ha editado un CD que tienen todos los centros médicos de las zonas del entorno de las centrales nucleares y ahora se está haciendo una revisión. Se basa todo en los manuales del OIEA, y te dice la actuación a realizar en el lugar del accidente, en el centro de referencia. Además, la Guía de Seguridad 7.5 del CSN, 1ª revisión, marca también la actuación. Aquí no hay ya nada que inventar.

En el caso Chernobil analizamos a 147 españoles que estaban por aquella zona, pero no hubo ningún afectado

P: *¿Hay diferentes protocolos para irradiados y contaminados?*

R: Sí, hay uno para contaminados, otro para irradiados y otro mixto. Se trata de saber primero cómo hay que informar al Consejo del suceso, con documentos estructurados, y luego el manejo de la situación y de los afectados. Estos protocolos se ensayan mediante los simulacros, en los que estamos siempre en situación de alerta.

P: *En caso de un accidente nuclear, ¿qué tipo de medidas habría que tomar?*

R: Yo creo que lo que se ha hecho en Fukushima es ejemplar, serviría de modelo. Lo primero que hay que hacer es alejar a la población de allí, aunque sea discutible si en un radio de 20 o de 30 kilómetros. Luego, sabiendo que el isotopo radiactivo más potente que acompaña a este tipo de accidente suele ser yodo-131, y también cesio, poner en marcha el tratamiento profiláctico, que en Japón se ha hecho bien. Después, hacer triaje de los evacuados; es decir determinar quién tiene contaminación, cuánta y de qué tipo. Lo más importante

es la profilaxis, y por eso no creo que en Fukushima pase lo que ocurrió en Chernóbil, porque allí pasaron tres días sin avisar, hubo nube radiactiva, precipitación y gente consumiendo verduras, leche... La principal profilaxis es la de yoduro potásico, pero es un error pensar que la tiene que tomar todo el mundo; solo en la zona donde se midan las dosis peligrosas.

P: *¿Porque también tiene contraindicaciones?*

R: Claro; hay mucha patología tiroidea latente. En España, por ejemplo, una de cada diez mujeres tiene hipotiroidismo y no lo sabe. No se puede administrar así como así. Desde los lactantes hasta los 45 años; por encima no está recomendado. Lo que hay que hacer es establecer bien las dosis, el adulto 130 miligramos diarios durante cinco días, instaurados de forma inmediata porque si no ya no sirve para nada. Una vez que tienes las personas medicadas más o menos en sus domicilios o en lugares apropiados se les deja confinados y se plantea la limitación de alimentos.

En caso de accidente la principal profilaxis es el yoduro potásico, pero no la tiene que tomar todo el mundo

P: *¿Qué otras medidas se deben tomar?*

R: Hay que saber si ha habido precipitación al suelo de los productos emitidos, que se suele producir por la lluvia y por el viento, por lo que hay que ver el nivel de contaminación en los alimentos básicos. Los más afectados suelen ser la leche, las verduras y el agua. En Japón lo que han hecho es indicar un nivel de becquerelios litro de leche/niño; una limitación para el agua, tanto corriente como embotellada y también para las verduras frescas. Se trata de poner unos límites a partir de los cuales no se puede consumir. Además, si hiciera falta se pondrían en marcha tratamientos para contaminados, incluido tratamiento psicológico.

P: *¿En qué consiste el tratamiento?*

R: El tratamiento médico suele ser con quelatos, que lo que hacen es identificar el agente contaminante y se pegan como lapas a él y lo eliminan rápidamente, explicado de forma sencilla. Otros procedimientos médicos consisten en disminuir la absorción del contaminante y favorecer su eliminación.

P: *¿Dónde se mantendría a las personas contaminadas?*

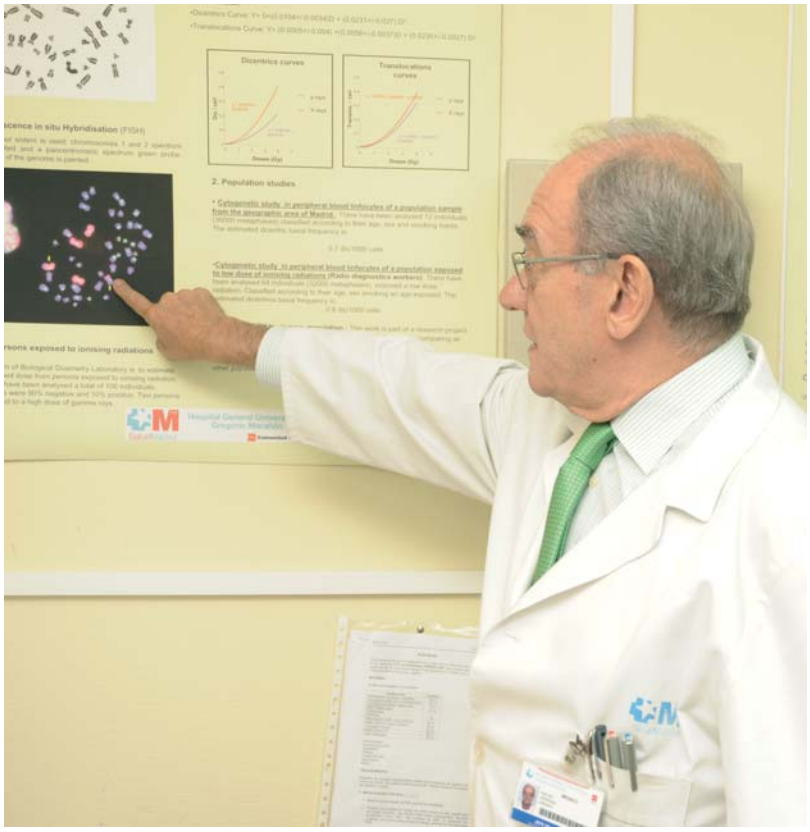
R: Tenemos una zona de aislamiento con doce habitaciones blindadas, que se usan para pacientes de braquiterapia, como implantes de fuentes de iridio, yodo, samario o cesio o administración oral de yodo. Las habitaciones son individuales y los niveles de radiación ambiental se miden con dosímetros de área, puestos en la pared, más que nada para detectar si un paciente con una fuente implantada sale de su habitación. Son habitaciones blindadas, donde el espesor del techo y las paredes está calculado para albergar el máximo posible de actividad de los isótopos usados y es unas tres veces mayor que el de una habitación normal. Si usas hormigón baritado se puede disminuir un poco el espesor, pero es más caro. También podría ser plomado y reduciría aún más el espesor pero es aún más caro. Las puertas sí tienen una lámina de plomo entre dos tablas de aglomerado, de forma que equivale al espesor de las paredes, y hay una mirilla con cristal plomado también, para reducir la sensación de aislamiento, porque se queda todo bunquerizado al cerrar.

P: *¿Con quienes se utilizan habitualmente?*

R: Se usa en pacientes tratados con isótopos radiactivos. Se está utilizando con un índice de ocupación del 70 al 75%, fundamentalmente con pacientes con cáncer de tiroides, tumores ginecológicos, de piel y de mama, a los que durante un tiempo se les aporta un material radiactivo en su cuerpo y tienen que estar en un lugar adecuado.

P: *¿Durante cuánto tiempo permanecen ahí?*

R: El término medio son tres días, que es el tiempo que tarda en depositarse en donde tiene que realizar su efecto o en eliminarse. Los pacientes de iridio o cesio, según la dosis que se les vaya a dar, porque si son dosis más altas tienen que estar más tiempo. Para dar de alta a los pacientes con yodo radiactivo lo que hacemos es que les medimos con un sistema de dosimetría portátil, miramos tiroides y vejiga, porque la eliminación es por la orina. Cuando llega a unos límites que son los autorizados por el Consejo podemos mandarlos a casa. El yodo tiene el problema de que cuando se van de aquí tienen que convivir en su casa y hay que darles unas recomendaciones higiénicas, dietéticas, de relación familiar… Por ejemplo, cuando orinan tienen que tirar varias veces de la cadena para diluirlo.



P: *Esos tres días, ¿los pasan completamente aislados?*

R: Tenemos un sistema de circuito cerrado de televisión que les permite mantener su intimidad, en la zona de cama y sillón su imagen está siendo captada por una cámara que la manda a la sala de enfermería y a la sala de visitas, y allí se toma también la imagen del visitante, de forma que pueden comunicarse. Es un sistema un tanto frío pero es lo que nos exigen las circunstancias.

P: *Al menos los visitarán ustedes ¿no?*

R: Nosotros pasamos consulta todos los días procurando estar el tiempo justo, a una cierta distancia y detrás de un escudo o barrera. Además, el acceso a las habitaciones es siempre con delantales plomados y en el caso de yodo radiactivo con protecciones para el cuello, un babero también plomado, de manera que las enfermeras y el personal sanitario estén protegidos.

P: *¿Cómo tratan los residuos?*

R: Los que más nos preocupan son los residuos radiactivos líquidos, como orinas, heces y agua del baño de los pacientes, y los tratamos por el método habitual de dilución, dispersión y demora. Los envías a los depósitos del subsuelo con una dilución mayor porque tiras tres veces de la cadena, abajo se tienen almacenados un tiempo para que pierdan actividad y se mide todos los días el contenido y la actividad y cuando está dentro de los límites permitidos se hace otra dilución con el agua del hospital, que son muchas toneladas diarias y se vierte a la red pública. Para esos residuos tenemos tres tanques de 12.000 litros cada uno y otros dos accesorios, por si acaso. Los residuos de tipo sólido se clasifican y se almacenan aquí provisionalmente, luego van a parar a un edificio fuera del hospital pero dentro del área, especialmente preparado para ello, de donde se los lleva Enresa ya acondicionados y clasificados por isótopos. Los restos que aquí tenemos son ropa de personas que han devuelto, platos, alimentación, restos de las fuentes lineales de iridio, porque el cesio se almacena, ya que tiene una vida muy larga, pero el iridio no.

P: *Ustedes tienen una amplia relación con el CSN. ¿En qué consiste?*

R: Es una relación oficial y personal que nació en 1984, cuando el entonces presidente, Francisco Pascual, firmó un documento en el que se decía que este centro estaba capacitado para desarrollar esta actividad. Ese documento se envió al Ministerio de Sanidad que fue quien autorizó el centro, a partir de entonces estamos presentes en todos los planes de emergencia. Cuando se produce un suceso que afecta a personas, tanto individual como colectivo, en alguna instalación radiactiva o nuclear, automáticamente el Consejo las remite aquí con el compromiso de información posterior. Si se activa la Salem y se considera necesario nosotros quedamos activados también, aunque en *stand by*, porque lo que no hacemos, y eso es importante, es desplazarnos; nos tienen que traer aquí al contaminado, debidamente envuelto y protegido, en helicóptero o en una ambulancia medicalizada que después tiene que ser descontaminada.

Consejo de Seguridad Nuclear

Rosario Velasco, nueva consejera del CSN

El pasado 29 de julio Rosario Velasco García tomó posesión como nueva consejera del CSN, ante el ministro de Industria, Turismo y Comercio, Miguel Sebastián y en presencia de todos los miembros del Pleno del Consejo. La nueva consejera sustituye a Francisco Fernández Moreno, que dejó el cargo al haber cumplido la edad máxima establecida para el mismo.

Rosario Velasco (León, 1957) es licenciada en Medicina y Cirugía por la Universidad de Valladolid y, desde 1980, funcionaria del Sistema Sanitario Público. Durante la VIII Legislatura fue diputada y, entre otros, desempeñó los cargos de portavoz de la Ponencia Evaluadora de las Actividades del Consejo de Seguridad Nuclear, portavoz adjunta en la Comisión de Industria, Turismo y Comercio y ponente del Proyecto de Ley del Sector Eléctrico y de la Ley del Sector Hidrocarburos. Fue ponente también de la Proposición de Ley de Reforma de la Ley del Consejo de Seguridad Nuclear, contribuyendo a la creación del Comité Asesor y a la definición de medidas para la mejora de la transparencia del organismo regulador.

La nueva consejera señaló que espera contribuir con su trabajo a la "consolidación de los logros alcanzados y responder a los nuevos desafíos que la institución deberá afrontar en el futuro".

Por su parte, el consejero saliente, Fernández Moreno, que fue nombrado el 1 de diciembre de 2006, quiso destacar la valía profesional del cuerpo técnico del Consejo y su generosa disposición a la hora de trabajar conjuntamente.

Carmen Martínez Ten presidió la primera Conferencia de Reguladores de Seguridad Nuclear en Europa

El Grupo Europeo de Reguladores Nucleares (ENSREG por sus siglas en inglés) celebró los días 28 y 29 de junio pasado, en Bruselas, la primera Conferencia Reguladora de Seguridad Nuclear, que estuvo presidida por Carmen Martínez Ten, presidenta del CSN. Asistieron al encuentro más de 400 personas, representantes de la sociedad civil, los organismos reguladores de la Unión Europea y de otros países, de instituciones internacionales y de organizaciones no gubernamentales. En su intervención, durante la sesión inaugural, Martínez Ten, recordó los tres ejes que guían la actuación de ENSREG: el avance en la armonización del marco normativo, el intercambio de experiencias nacionales y la mejora de la comunicación y la transparencia.

Aunque la conferencia estaba programada con un año de antelación, el accidente ocurrido tres meses antes en la central de Fukushima, Japón, fue el asunto más destacado durante las reuniones. Buena parte del trabajo desarrollado durante los dos días estuvo dedicado a las pruebas de resistencia a las que se están sometiendo las centrales nucleares europeas a raíz de dicho accidente, de acuerdo con la Asociación de Reguladores Nucleares de Europa Occidental (WENRA).

En el acto de clausura intervino André-Claude Lacoste, presidente de la Authorité de Súreté Nucleaire de Francia y vicepresidente de la conferencia, que subrayó el esfuerzo realizado en Europa en los últimos años, destacando la aprobación de la Directiva Europea de Seguridad Nuclear y la nueva Directiva de Gestión de Residuos y Combustible Gastado. Son la prueba del avance producido en la armonización normativa de los países de la UE.

Segunda reunión del Consejo Asesor para la Información y la Participación Pública del CSN

El pasado 20 de octubre tuvo lugar la segunda reunión del Comité Asesor para la Información y la Participación Pública del Consejo de Seguridad Nuclear, con la presencia de 29 de sus miembros. Durante la reunión, se aprobó el procedimiento de actuación de este órgano en el ejercicio de su función, que consiste en emitir recomendaciones para mejorar la transparencia y el acceso público a la información en el ámbito de las competencias del Consejo. También se fijó la próxima reunión para el 19 de abril de 2012. Previamente, la presidenta del CSN, Carmen Martínez Ten, informó a los miembros del Comité de las actuaciones realizadas con motivo del accidente de la central nuclear japonesa de Fukushima y las pruebas de resistencia que se están realizando a las centrales nucleares europeas. Por su parte, Luis Gámir, vicepresidente del Consejo, realizó una exposición detallada del nuevo Plan Estratégico del CSN.

Las pruebas de resistencia entran en su fase final

Tal como estaba previsto en el calendario establecido, el pasado 31 de octubre los titulares de las centrales nucleares españolas entregaron los informes definitivos con los resultados finales de las pruebas de resistencia previstas en toda Europa tras el accidente ocurrido en la central nuclear de Fukushima. Estas pruebas han reevaluado los márgenes de seguridad de los sistemas de protección existentes en las instalaciones nucleares españolas e identifican posibles mejoras adicionales para mitigar accidentes por encima de las bases establecidas en el diseño inicial de las centrales. En el ejercicio se han contemplado situaciones más allá de lo establecido en las bases de diseño sobre: inundaciones, terremotos, accidentes severos o pérdida de la refrigeración de las centrales nucleares.

El alcance técnico de las pruebas de resistencia se definió tras diversas reuniones internacionales, como la celebrada el 8 de junio por la Agencia de Energía Nuclear (NEA/OCDE) en París; la del OIEA en Viena del 20 al 24 de junio, donde se dieron a conocer los resultados de la misión enviada por este organismo a Japón para conocer los detalles del accidente y las medidas adoptadas por el Gobierno japonés y ENSREG en Bruselas, del 28 y 29 de junio. En su contenido se han tenido en cuenta escenarios semejantes a los que se produjeron en el accidente de Fukushima, y en los que coinciden varios sucesos iniciadores y fallos múltiples.

En concreto, el parque nuclear español ha basado su reevaluación en los siguientes aspectos:

— Riesgos sísmicos: todas las plantas deben justificar el margen sísmico de que disponen por encima del sismo contemplado en su base de diseño.

— Riesgos de inundaciones relativos a rotura de presas, grandes precipitaciones o avenidas de agua procedentes de los ríos o embalses cercanos a la instalación.

— Escenarios de pérdida de alimentación eléctrica y de pérdida de sumidero final de calor. Este apartado contempla tanto la pérdida total de la alimentación eléctrica como la combinación de los dos supuestos mencionados.

— Gestión de accidentes severos: se evalúan los medios de que dispone la central para hacer frente a situaciones extremas en las que se haya producido daño al núcleo del reactor; medidas disponibles para mantener las condiciones de refrigeración de las piscinas de almacenamiento de combustible gastado, y capacidades de prevención o mitigación de la pérdida de la integridad de la contención.

El proceso de realización de las pruebas se inició el pasado 30 de junio, cuando el CSN aprobó una Instrucción Técnica Complementaria que establecía las medidas adicionales a adoptar por los titulares de las centrales nucleares españolas para cubrir las consecuencias de determinados sucesos, a priori considerados como más allá de la base de diseño, y que podrían suponer la pérdida de grandes áreas de la planta, detallando los recursos humanos y equipos que aseguren una eficaz extinción de grandes incendios de origen externo; y en este contexto, la refrigeración del núcleo y de la piscina de combustible gastado, la protección de la contención; así como la minimización en la medida de lo posible de los consiguientes vertidos radiológicos al exterior.

Los resultados preliminares fueron comunicados por los operadores de las centrales al CSN el pasado 18 de agos-

Acuerdos de encomienda

El Consejo de Seguridad Nuclear mantiene acuerdos con algunas comunidades autónomas para la realización, por parte de éstas, de algunas de las funciones de vigilancia y control encomendadas al CSN, con el objetivo de optimizar su ejecución. Dichos acuerdos establecen la creación de comisiones mixtas de control del desarrollo de cada uno de los acuerdos, que se reúne al menos una vez al año. Durante los últimos meses se han celebrado las reuniones correspondientes a los acuerdos con la Generalitat catalana, el 6 de junio; con la Comunidad de Murcia, el 7 de junio; con el País Vasco, el 12 de septiembre; y nuevamente con la Generalitat catalana, por un acuerdo específico sobre emergencias radiológicas que se mantiene con esta comunidad, el 7 de julio.

to y, siempre de acuerdo con el calendario establecido, el regulador español remitió su informe provisional con dichos resultados a la Comisión Europea el pasado 15 de septiembre. Ahora, tras la evaluación correspondiente, los informes finales serán remitidos a la Comisión Europea antes del 31 de diciembre. Los titulares deberán haber implantado todas las medidas resultantes de la realización de estas pruebas antes del 31 de diciembre de 2012.

La UIMP celebra un curso sobre Protección Radiológica y Salud

Entre los días 4 y 6 de julio, la Universidad Internacional Menéndez Pelayo acogió en el palacio de la Magdalena de Santander el curso Protección Radiológica y Salud, organizado por el Consejo de Seguridad Nuclear, la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (Enresa), el Ministerio de Sanidad, Política Social e Igualdad y el Instituto de Salud Carlos III. Durante esos tres días, más de 70 expertos en protección radiológica, gestión de residuos radiactivos y uso médico de radiaciones ionizantes tuvieron ocasión de compartir experiencias y conocer los últimos avances en torno a las aplicaciones de las radiaciones ionizantes en medicina.

La conferencia magistral corrió a cargo de Wolfgang Weiss, presidente del Comité Científico de Naciones Unidas sobre los Efectos de la Radiación Atómica (UNSCEAR), quien afirmó que el uso de las radiaciones ionizantes en medicina ha aumentado un 50% entre 1997 y 2007, lo que puede considerarse un avance siempre y cuando se compruebe que han sido tratados con los mecanismos más punteros para disminuir el riesgo de un cáncer secundario. El reto de UNSCEAR en estos momentos, según indicó, es la elaboración de una base de datos electrónica en la que se registren los datos sobre la frecuencia y las dosis de radiaciones ionizantes recibidas, tanto por pacientes como por trabajadores expuestos.

Durante la primera jornada destacó la participación del director del curso y director técnico de Protección Radiológica del CSN, Juan Carlos Lentijo, quien subrayó la importancia de estas jornadas para impulsar la protección radiológica en el

Simulacros

Para el entrenamiento y mejora de la respuesta ante emergencias nucleares y radiológicas, todas las instalaciones nucleares y del ciclo realizan una vez al año un simulacro en condiciones desconocidas para los actuantes, incluido los miembros del Consejo de Seguridad Nuclear, que participa activando la Organización de Respuesta ante Emergencias (ORE) y su Sala de Emergencias (Salem).
En los últimos meses se han llevado a cabo simulacros en la central nuclear de Trillo, el 30 de junio, la fábrica de combustible de Juzbado, el 7 de julio, la central nuclear en desmantelamiento José Cabrera, el 21 de julio, y la central nuclear de Cofrentes, el 8 de septiembre.

ámbito sanitario y agradeció la oportunidad de reunir a expertos en todos los sectores implicados. "Debemos trabajar juntos para optimizar el uso de las radiaciones ionizantes, que es obtener el máximo beneficio con el mínimo perjuicio", afirmó.

Durante la segunda jornada destacó la intervención de Jacques Lochard, director del Centro de Estudios sobre la Evaluación de la Protección en el ámbito Nuclear y miembro de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), que abordó cuestiones relativas al sistema de protección radiológica en aplicaciones médicas y las recomendaciones básicas que establece periódicamente dicha comisión, y recordó que toda estimación de límites debe calcularse en base a los principios básicos de protección radiológica: justificación, optimización y limitación de dosis. El consejero Francisco Fernández, moderó una mesa redonda dedicada a los últimos avances en la protección radiológica de los pacientes, los ciudadanos en general y el medio ambiente.

Por su parte, el jefe del área de Epidemiología Ambiental y Cáncer del Instituto de Salud Carlos III (ISCIII), Gonzalo López, presentó los resultados del Estudio Epidemiológico que el CSN y el ISCIII realizaron para analizar el posible impacto radiológico de las instalaciones nucleares y radiactivas del ciclo en la salud de la población. Las conclusiones del mismo indican que no existe un incremento de la mortalidad en los municipios situados en la proximidad ni de las siete centrales nucleares en funcionamiento en España ni de las cinco instalaciones del ciclo de combustible.

Como colofón de las tres jornadas intervino María Neira, directora de Salud Pública y Medio Ambiente de la Organización Mundial de la Salud (OMS), quien señaló los retos que se plantean ante el futuro en el ámbito de la radioprotección y la salud pública. Tras su intervención clausuraron el curso la presidenta del Consejo de Seguridad Nuclear, Carmen Martínez Ten, el rector de la UIMP, Salvador Ordóñez, y la directora general de Salud Pública y Sanidad Exterior, Carmen Amela.

Publicado el Informe Anual del CSN 2010

El Informe Anual del Consejo de Seguridad Nuclear 2010, está ya disponible en el apartado de publicaciones de la web del CSN. Este documento, cuya elaboración y remisión al Congreso de los Diputados forma parte de las obligaciones que el CSN tiene encomendadas por ley, recopila las actividades llevadas a cabo por el organismo durante el pasado año. Recoge también los incidentes notificados por parte de las instalaciones nucleares y radiactivas, informa sobre las renovaciones de las licencias de explotación de las centrales y muestra las conclusiones del Estudio Epidemiológico sobre los posibles efectos de las radiaciones ionizantes sobre la salud de la población en los entornos de las centrales nucleares, realizado por el Instituto de Salud Carlos III y el CSN.

Reunión anual del Foro Iberoamericano

El Plenario del Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y Nucleares (Foro), formado por las máximas autoridades de los organismos competentes de sus países miembros (Argentina, Brasil, Chile, Cuba, España, México, Perú y Uruguay), se reunió los días 14 y 15 de julio en Santiago de Chile (Chile), país que ostenta la presidencia este año. Entre las decisiones más importantes tomadas durante la reunión destaca la de someter a pruebas de resistencia a los seis reactores nucleares de potencia que operan en Iberoamérica, ubicados en México, Brasil y Argentina, mediante un modelo similar a las que se están realizando en Europa.

Como es habitual, los asistentes analizaron las conferencias internacionales en las que el Foro ha participado desde su reunión anterior, en julio de 2010, y el Comité Técnico Ejecutivo expuso las actividades que está llevando a cabo actualmente y realizó nuevas propuestas para un futuro próximo, de cara a la consolidación, ampliación e interacción con otros organismos, especialmente el OIEA, con quien se han establecido una serie de líneas de actuación.

También se debatió la importancia del intercambio de información entre los miembros del Foro y la homogenización de las prácticas de regulación en protección radiológica y en seguri-

dad nuclear. La presidenta del Consejo de Seguridad Nuclear, Carmen Martínez Ten, intervino en el Plenario para presentar las actuaciones llevadas a cabo en España por el CSN tras el accidente de Fukushima y expuso el desarrollo de las pruebas de resistencia a las instalaciones nucleares españolas. Además, informó de la evolución de la directiva europea sobre gestión de residuos radiactivos.

Finalmente, se produjo el cambio de presidencia anual del Foro, que en el año 2012 corresponde a la presidenta del organismo regulador cubano, Luisa Aniuska Betancourt.

El consejero Antonio Colino, nuevo presidente de Ceiden

El consejero del Consejo de Seguridad Nuclear, Antonio Colino, ha sido nombrado presidente de la Plataforma Tecnológica Nacional de I+D de Energía Nuclear de Fisión (PT Ceiden), durante la V Asamblea celebrada por esta entidad. Como secretario fue elegido Pío Carmena.

Antonio Colino, doctor ingeniero de Caminos, Canales y Puertos y académico de la Real Academia de Ingeniería, pasa a ocuparse de la coordinación y organización de las reuniones de la plataforma, así como del desarrollo logístico y de apoyo al Consejo Gestor, a los grupos de trabajo y a los miembros colaboradores. También representa desde su nuevo cargo al Consejo Rector de Ceiden ante otros organismos y entidades, y asume el seguimiento exhaustivo de la gestión de la organización.

La Plataforma Ceiden fue constituida en el año 2007 y es un organismo de coordinación de las necesidades y esfuerzos de I+D en el campo de la tecnología nuclear de fisión. Su labor permite plantear y abordar proyectos de forma conjunta por parte de las entidades que están afectadas por la problemática que pretenden resolver, y presentar una posición nacional única frente a las propuestas o los compromisos internacionales. En la Plataforma están representados todos los sectores relacionados con la I+D nuclear en España y su ámbito de actuación comprende tanto las centrales actualmente en operación, como los nuevos diseños de reactores. Actualmente, son más de 70 las entidades (empresas eléctricas, de servicios, ingenierías, universidades, centros de investigación, reguladores y administración) las que forman parte y desarrollan los programas colaborativos de I+D, que están teniendo un amplio reconocimiento internacional.

Explosión en una planta de tratamientos de residuos radiactivos en Francia

El día 12 de septiembre, se produjo una explosión en un horno de fusión de metales del Centro de Tratamiento y Acondicionamiento de Residuos de Baja Actividad (CENTRACO), situado en las proximidades del emplazamiento nuclear de Marcoule, en Gard (sureste de Francia), provocando la muerte de una persona y heridas de diversa consideración a otras cuatro. Según informó el organismo regulador francés (Autôrité de Sûreté Nucleaire, ASN), que movilizó a su división de Marsella y envió a un equipo de inspectores a investigar el suceso, no se produjeron emisiones radiactivas al exterior.
La instalación, que entró en funcionamiento en 1999, está dedicada al tratamiento de residuos radiactivos de baja o muy baja actividad, mediante la fusión de residuos metálicos, o mediante la incineración de residuos orgánicos. Según el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) el principal isótopo presente en los materiales que se tratan en el horno afectado es el cobalto-60.

Informe favorable a la renovación de Ascó

El Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear aprobó por unanimidad, el 29 de julio, informar favorablemente la solicitud de renovación de la autorización de explotación de las dos unidades de la central nuclear de Ascó (Tarragona) por un periodo adicional de diez años (2011-2021). El Pleno tuvo en cuenta el cumplimiento de los límites y condiciones de la autorización vigente, basándose en la comprobación del funcionamiento de las instalaciones y en el mantenimiento del nivel adecuado de seguridad para continuar su operación, así como en las modificaciones introducidas o previstas para dar respuesta a normativas más exigentes que las que se utilizaron en su construcción. El informe tiene también en cuenta la información procede de las 324 inspecciones realizadas a la central durante la vigencia del anterior permiso y de los resultados de la supervisión continua de su funcionamiento mediante el Sistema Integrado de Supervisión de Centrales. El informe contempla nueve límites y condiciones a cada una de las dos unidades.

Nuevas Normas Básicas de Seguridad Radiológica del OIEA

Tras un proceso de más de cinco años, la Junta de Gobernadores del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) aprobó las nuevas Normas Básicas de Seguridad Radiológica (BSS, por las siglas de *Basic Safety Standards*), que establecen los requisitos para la protección de las personas y el medio ambiente contra los efectos nocivos de la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación.

La nueva normativa contiene 290 requisitos y su estructura diferencia situaciones planificadas, existentes y de emergencia, de acuerdo con la nueva denominación de situaciones establecida en las Recomendaciones Básicas de la ICRP-103, aplicables a la exposición ocupacional, a la exposición del público y de carácter general.

Entre los aspectos más relevantes de la nueva normativa destaca la revisión a la baja del límite de dosis al cristalino para trabajadores expuestos (20 mSv por año promediados en cinco años sin superar 50 mSv en una año), en consonancia con lo establecido en la ICRP *Statement on Tissue Reactions* de abril de 2011; la incorporación de los diez principios de seguridad contenidos en los Fundamentos Unificados de Seguridad del OIEA; los requisitos sobre el control del radón en situaciones planificadas y en situaciones existentes (consistentes con lo establecido en la ICRP *Statement on Radon* de noviembre de 2009; y la especial atención dedicada a los requisitos aplicables a la exposición médica de pacientes y a las acciones a tomar en caso de exposiciones involuntarias y accidentales. El proceso de revisión de las BSS fue aprobado en abril de 2006, durante la 20ª reunión del Comité de Normas de Protección Radiológica del OIEA (RASSC) y se inició en octubre de ese año con la constitución de una Secretaría Conjunta. En su desarrollo han participado, además del OIEA, la FAO, la OIT, la NEA-OCDE, la OMS, el PNUMA, la Organización Panamericana de la Salud y la Comisión Europea.

Informe final de la evaluación de seguimiento de la Misión IRRS a España

El CSN ha mejorado de forma significativa sus actividades, de acuerdo con el informe final de la evaluación de seguimiento de la Misión IRRS, remitido el pasado 29 de septiembre por el OIEA al organismo regulador. El informe subraya que se han producido avances en la mayoría de las áreas de mejora identificadas por la misión original, que analizó a principios de 2008 el funcionamiento de la regulación nuclear y radiactiva en España.

La misión de seguimiento se celebró a principios de este año, para analizar la respuesta del Consejo a las recomendaciones contenidas en el informe de la misión original, y en las conclusiones finales da por cerradas la mayor parte de ellas por la detección de mejoras sustanciales. Además, añade nuevas fortalezas a los reconocimientos de buenas prácticas identificados en las conclusiones de la misión original.

Por último, realiza recomendaciones y sugerencias para reforzar la tarea del Consejo, como la de establecer una política formal sobre la utilización de los órganos asesores técnicos para adoptar decisiones reguladoras de carácter técnico, así como la de acompañar el trabajo de los agentes implicados para la consecución de un almacenamiento definitivo de combustible gastado y de residuos de alta actividad.

ARTÍCULO

Misión del OIEA sobre el Programa de Rehabilitación de Zonas Contaminadas en Japón

› Juan Carlos Lentijo,
Director técnico
de Protección Radiológica
del CSN

Entre los días 7 y 15 de octubre, el Organismo Internacional de Energía Atómica envió una misión de expertos a Japón para conocer y evaluar el programa de rehabilitación que el Gobierno de ese país ha puesto en marcha con el fin de de permitir el regreso a sus hogares y a sus actividades cotidianas de buena parte de los residentes en las zonas afectadas por el accidente de la central nuclear de Fukushima. Los resultados de la misión, que tuve el honor de encabezar, por invitación expresa del organismo internacional, reconocen la viabilidad, adecuación y seriedad del proyecto e incluyen también algunas sugerencias para su mejora.

Antecedentes

Tras el grave accidente ocurrido en la central de Fukushima Daiichi el pasado mes de marzo, el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), a solicitud del Gobierno japonés, envío una misión internacional para evaluar lo ocurrido de manera independiente y emitir una serie de recomendaciones que ayuden al país a afrontar la situación, así como para obtener lecciones aprendidas que pueda adoptar la comunidad internacional. Dicha misión se llevó a cabo entre los días 24 de mayo y 1 de junio, y sus conclusiones fueron objeto de una Conferencia Ministerial sobre Seguridad Nuclear, que se celebró entre el 20 y el 24 de junio en Viena.

Con el informe de la primera misión y el elaborado por el Gobierno de Japón

Experto de la primera misión observa los daños en la unidad 3 de la central nuclear Fukushima Daiichi (OIEA).

El equipo de la misión del OIEA verifica el estado de la central nuclear Fuckushima Daiichi (G. Verlinni-OIEA). A la derecha, el equipo del OIEA en el centro de control de emergencias de la central nuclear Tepco Fuckushima Daiichi (OIEA).

se formó un grupo de trabajo que trazó un plan de acción para reforzar la seguridad nuclear en todo el mundo. Este plan, aprobado por la Junta de Gobernadores del OIEA en septiembre, recoge todas las fases de la organización de respuesta ante emergencias, así como la necesidad de mejorar o reforzar los programas de protección radiológica de las personas en este tipo de situaciones. El plan considera además la necesidad de robustecer los mecanismos de interacción internacional, de forma que expertos de todo el mundo puedan verificar y revisar las diferentes situaciones nacionales que se puedan presentar.

Por todo ello, y teniendo en cuenta que el Gobierno japonés había elaborado ya un programa de rehabilitación para recuperar las áreas contaminadas como consecuencia del accidente, se decidió, con carácter de urgencia, enviar una nueva misión específica para evaluar dicho programa. Había una cierta continuidad con la misión enviada en mayo, entre cuyas conclusiones se encontraba la necesidad de que Japón pusiera en marcha programas de seguimiento de las exposiciones que habían recibido o podían recibir los ciudadanos y de control sanitario de los mismos. La misión de la pasada primavera puso de manifiesto la conveniencia de que estos programas fueran apoyados y se hiciera el seguimiento desde el OIEA. Como muestra de esa continuidad, se decidió que encabezara esta segunda misión la misma persona que en la anterior se había responsabilizado de los aspectos de protección radiológica.

Preparación de la misión

La premura con que se organizó hizo que ésta fuera una misión especial, diferente a las convencionales. La composición del equipo no contaba, como es habitual, con un servicio de apoyo logístico y de secretariado, por lo que fueron los propios miembros de la misión los encargados de organizar todo el trabajo con el apoyo de las oficinas del OIEA en Viena. Dicho equipo estaba formado por 12 expertos, la mayor parte de ellos del propio OIEA, uno perteneciente a la Organización para la Alimentación y la Agricultura de Naciones Unidas (FAO) y otros dos expertos no ligados a organizaciones internacionales, un investigador de la Universidad de San Petersburgo con una gran experiencia en las tareas de restauración del entorno de la central de Chernóbil, y yo mismo, como responsable de la misión.

Por otro lado, además del programa de rehabilitación de áreas contaminadas objeto de esta misión, se ha creado un grupo internacional de expertos, coordinado por la Organización Mundial de la Salud, dedicado específicamente a intentar reconstruir los datos sobre dosis recibidas por la población y definir el programa de seguimiento sanitario de la misma a largo plazo. Durante los días del accidente se realizaron mediciones a unas 200.000 personas y el programa epidemiológico de la OMS pretende hacer un seguimiento de las mismas.

Para realizar esta segunda misión, las autoridades japonesas avanzaron documentación detallada sobre el programa de rehabilitación: la ley que sustenta el programa —publicada a finales de septiembre del presente año, aunque no entrará en vigor hasta el 1 de enero de 2012—;

las acciones previstas, los responsables de llevarlas a cabo, la financiación, los objetivos y, en general, todas las políticas de actuación a futuro, plasmadas en más de una veintena de documentos.

La misión, que se desplazó del 7 al 15 de octubre, se realizó a través de tres elementos básicos. En primer lugar, celebramos reuniones técnicas con los responsables del programa, pertenecientes, entre otros, al Ministerio de Medio Ambiente, al Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y al de Educación, Ciencia y Deportes, así como a la Agencia de Energía Nuclear de Japón (JAEA), que está prestando asistencia técnica para el desarrollo del mismo. Por otro lado, realizamos visitas técnicas a las áreas donde se va a desplegar este programa, incluyendo la central, la zona restringida, la de confinamiento y la de realojamiento, que es donde fundamentalmente se van a llevar a cabo las acciones de rehabilitación. Por último, tuvimos varios encuentros institucionales con representantes del Gobierno y sus ministros, el gobernador de la prefectura y los alcaldes de la zona. Es decir, con los tres niveles de organización del Estado. De esta forma garantizamos el contacto directo y pudimos comprobar el compromiso político de todos los implicados con el programa de rehabilitación.

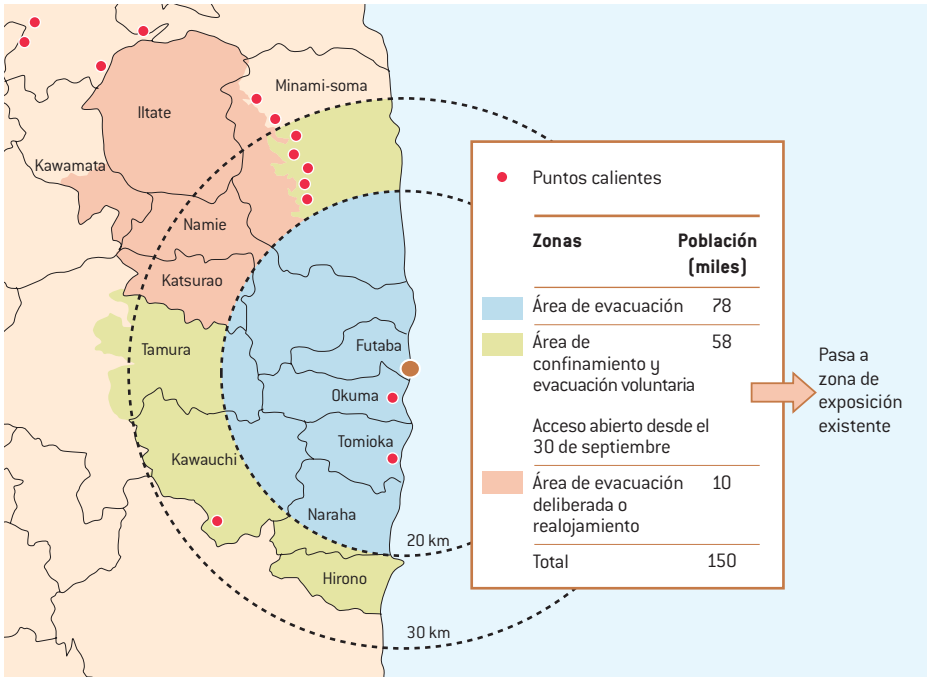
Muestra de ese refrendo de los responsables del Gobierno al programa y a la propia misión internacional fue la colaboración que nos prestaron en todo momento, facilitando nuestra labor sin ningún tipo de cortapisas; incluida nuestra interacción con los medios de comunicación, que nos acompañaron en todas nuestras actividades y a quienes ofrecimos una rueda de prensa al final de la misión con las conclusiones preliminares. La transparencia es un aspecto importante en las misiones del OIEA, e informar públicamente de la misión y de sus resultados es siempre un requisito fundamental en este tipo de actuaciones.

Condiciones de partida

Para entender el programa japonés conviene conocer de antemano las características de la contaminación producida y la distribución territorial de la afectación, distinguiéndose tres zonas (ver mapa 1).

La primera zona es el entorno de la central, la superficie incluida en un radio de 20 kilómetros, que fue evacuada de forma urgente y completa, y que sigue estando bajo restricción absoluta de acceso, excepto para las personas autorizadas, como los trabajadores que actualmente realizan las tareas para el control de las instalaciones. En esta zona no está previsto actuar de momento, aunque a largo plazo se realizarán tareas de rehabilitación de acuerdo con la experiencia acumulada en las zonas donde se está poniendo en marcha actualmente el programa.

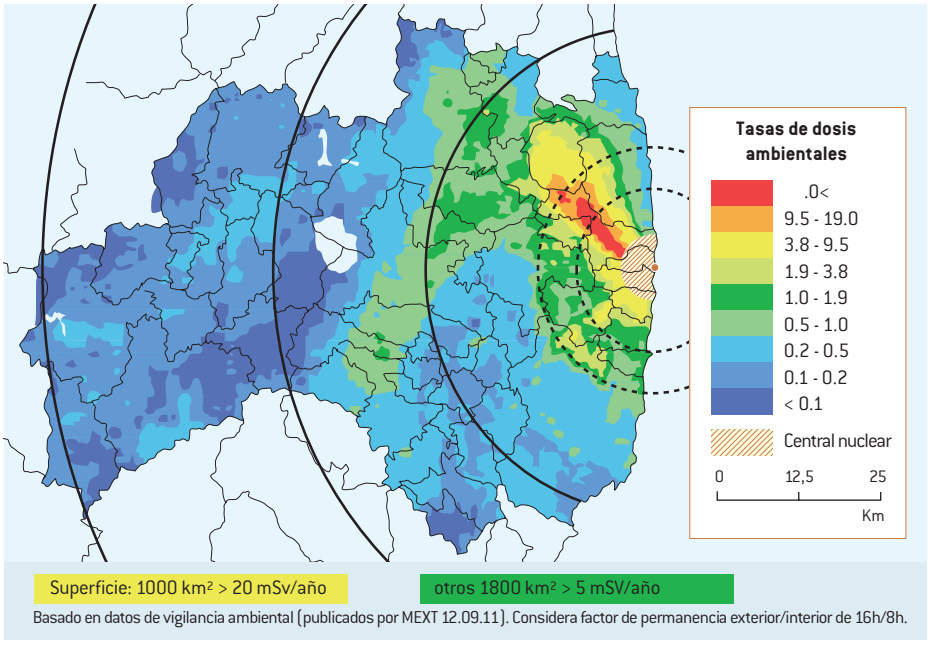
La zona situada entre 20 y 30 kilómetros de la central, que inicialmente se declaró zona de confinamiento y evacuación voluntaria. Los habitantes de esta zona pudieron elegir entre quedarse confinados en sus hogares o acudir a los refugios que se habilitaron al efecto, como polideportivos, centros culturales u otras instalaciones. Esta situación es difícil de mantener durante mucho



Mapa 1. Zonas de actuación en emergencia tras el accidente en la central nuclear Fukushima Daiichi. Situación actual.

tiempo por la complicada logística de aprovisionamiento que exige. Recientemente, en esta zona se han levantado las medidas de confinamiento y de evacuación voluntaria, y no hay restricciones de movimiento, aunque subsisten problemas de infraestructuras por los daños ocasionados por el terremoto y el tsunami, lo que dificulta la recuperación en la misma. Pese a todo, muchos habitantes no han regresado aún a sus hogares. El programa de rehabilitación contempla en esta zona la descontaminación de algunos puntos concretos y una intensa labor de información a los ciudadanos.

La tercera zona forma un lóbulo que se extiende hasta unos 60 km en dirección noroeste desde la central, y es la zona que quedó más contaminada por la dirección de los vientos dominantes durante la fase crítica del accidente. Es la llamada zona de evacuación deliberada (realojamiento en la terminología internacional), en la que se desalojó a los habitantes y que aún permanece con esta restricción. Es la principal zona donde el programa de rehabilitación va a actuar a corto plazo. Conviene aclarar que en este caso no se habla de evacuación, que es un término que se usa para cuando se pretende prevenir la exposición por una posible emisión de radiactividad y evitar que el público reciba una dosis significativa en poco tiempo (relacionado con el paso de la denominada nube radiactiva liberada desde la instalación). Por ello se actúa con carácter urgente y en una zona de dimensiones prefijadas, que en este caso incluyó la comprendida en un radio de 20 kilómetros alrededor de la central. En este caso la medida que se adopta es la de realojamiento, y el riesgo que se pretende evitar es el relacionado con la dosis proyectada que podrían recibir los residentes como consecuencia de la contaminación depositada durante un periodo prolongado. Habitualmente se estima la dosis proyectada en un año, y si supera ciertos criterios, los que están en la reglamentación y recomendaciones internacionales, se aplica la medida de realojamiento. En esta zona las carreteras están abiertas al tránsito, porque la exposición que reciben los ciudadanos durante su travesía no es significativa.



Mapa 2. Extensión de las áreas afectadas por el accidente en la central nuclear Fukushima Daiichi.

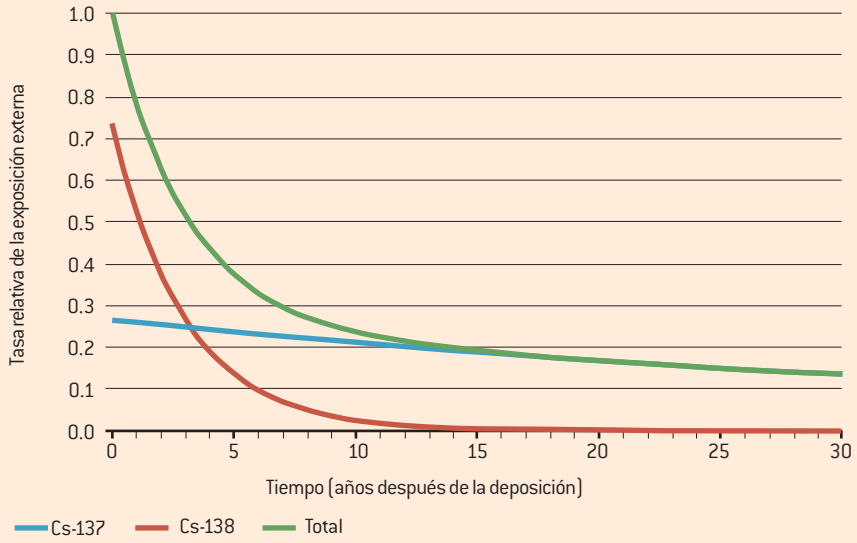
Para establecer las acciones a tomar en cada caso ha sido necesario medir con bastante detalle la actividad en cada lugar e identificar los puntos contaminados. Para ello se ha hecho un barrido en 80 kilómetros en torno a la central con una malla densa. En términos generales, se ha delimitado una amplia zona, de unos 1.000 km^2, donde la dosis que recibirían las personas expuestas sería superior a 20 miliSievert/año (mSv/año), que se corresponde en términos generales con la tercera zona, la de realojamiento, y otra más amplia, de unos 1.800 km^2 con dosis potencial superior a 5 mSv/año, más amplia y extendida (ver mapa 2).

Además, ha sido muy importante para la elaboración del programa la determinación cualitativa de la contaminación. En el accidente de la central nuclear Tepco-Fukushima se emitieron fundamentalmente productos de fisión, sobre todo los gases nobles y los isótopos más volátiles, incluyendo yodos, cesios, algo de telurio y estroncio. Esta es una diferencia importante con el caso de Chernóbil, donde además se emitieron plutonio y otros actínidos de vida larga. Desde el accidente en Fukushima, el yodo ya ha desaparecido, porque tiene un periodo de semidesintegración muy corto, de modo que la inmensa mayoría de los isótopos que actualmente se miden en los depósitos en el suelo y otras superficies son cesio-137 y cesio-134, que por ello constituyen el riesgo predominante considerado en el programa de rehabilitación.

Ambos isótopos del cesio se liberaron en el accidente en proporciones más o menos iguales. El cesio-134 tiene un periodo de semidesintegración de unos dos años y el 137 de unos 30, por lo que de forma natural la actividad del primero decaerá con rapidez en pocos

años, lo cual favorece la viabilidad del programa de rehabilitación. Además, la contribución del primero a la dosis es mayor, debido a que en su cadena de desintegración aparecen radiaciones gamma más energéticas que en la del segundo. Por eso, actualmente, en torno al 75% de la dosis se debe al cesio-134, y el 25% al cesio-137 (ver gráfico). La desintegración del isótopo de vida más corta hará que, de forma natural, la dosis potencial disminuya un 40% en dos años y un 75% en cinco. Además, la forma física del cesio depositado en las áreas contaminadas hace que se fije bien al suelo y que no se disuelva en el agua de lluvia. Por otro lado, las características del terreno en las áreas afectadas dificultan el proceso de resuspensión por la acción del viento.

Gráfico. Reducción de la tasa de exposición externa relativa debida a la deposición de Cs-134 y Cs-137 (ratio=1) como consecuencia del decaimiento radiactivo.



El programa de rehabilitación

El programa de rehabilitación puesto en marcha por el Gobierno japonés pretende recuperar los territorios contaminados en la zona de evacuación deliberada (realojamiento) para permitir el retorno de la población. El programa prevé su aplicación en la zona restringida, pero a más largo plazo, considerando la especial situación de la misma por su proximidad a la instalación accidentada. Tras su elaboración, se ha aprobado una Ley que define el programa y que entrará en vigor el 1 de enero de 2012, teóricamente cuando la planta tenga un control suficientemente estable y garantizado, algo que en la práctica se ha alcanzado ya (parada fría de los reactores) pero que no se prevé declarar formalmente hasta finales de año.

Para su elaboración, previamente se realizó la caracterización radiológica ya descrita. Después, se definieron los objetivos y los criterios de actuación. Se prevé actuar en las zonas con dosis potencial de exposición superior a 20 mSv/año, con el fin de reducir un 50% dicha dosis en dos años, y un 60% en el caso de lugares de exposición infantil, como los colegios. Esta reducción incluye el 40% de reducción natural por decaimiento de la actividad del cesio.

A medio plazo, en torno a cinco años, la intención es conseguir reducir la dosis hasta 1 mSv/año, valor que corresponde con el definido internacionalmente como límite anual de la dosis al público debida a la utilización de las radiaciones ionizantes en los diferentes sectores. También está previsto actuar en las zonas con dosis potencial actual superior a 5 mSv/año, para llevarlo también a corto o medio plazo a 1 mSv.

Se trata de objetivos ambiciosos, aunque coherentes con las normas y recomendaciones internacionales, y en todo caso factibles de acuerdo con los

Entrega del informe preliminar de la misión del OIEA al ministro japonés de Medio Ambiente (G. Verlinni-OIEA).

Rueda de prensa al finalizar la misión (G. Verlinni-OIEA).

Carteles murales informativos en la Villa-J, Centro de Control de Accesos al Área Restringida (OIEA).

medios que se han puesto a disposición del programa.

Para determinar la forma más adecuada de conseguir los objetivos, se han establecido diferentes tipos de medidas y tecnologías, que actualmente están siendo sometidas a prueba mediante proyectos de demostración. Se trata de ver cómo se comporta cada una de ellas en función de las características del terreno, ya sea urbano, agrícola o forestal, sobre cada tipo de suelos, en diferentes orografías, etc. En función de los resultados de estas pruebas se determinará la actuación a realizar en cada zona. Muchas de estas tecnologías han sido probadas anteriormente en entornos contaminados, singularmente en Chernóbil, aunque el entorno, tanto social como natural, y la disponibilidad tecnológica son muy diferentes.

En total se han preparado una quincena de proyectos de prueba para descontaminar diferentes situaciones, como escuelas, entornos urbanos, campos de cultivo, en especial los de arroz, carreteras, o áreas forestales. Hasta ahora se ha puesto mayor énfasis en los colegios, de modo que, partiendo del proyecto modelo, ya se ha intervenido en 400. Los miembros de la misión visitamos uno de ellos y comprobamos la actuación. Habían caracterizado la distribución de la contaminación mediante un mallado de 10 metros en superficie, midiendo la tasa de dosis a 50 cm y a un metro. Un grupo de voluntarios, con la supervisión de expertos, habían retirado una capa de unos 5 cm del suelo del patio y lo habían metido de forma transitoria en unas zanjas de unos dos metros de profundidad, dando la vuelta a la tierra excavada de forma que la que estaba más profunda, y por tanto más limpia, quedara por encima. También habían tratado zonas pavimentadas mediante lavado con agua, que no había dado resultados especiales, y con procedimientos de barrido mecánico. Además, habían tratado el agua de la piscina de la escuela mediante un proceso de floculación. Estas últimas tareas, que habían requerido el apoyo de una empresa especializada, generaron residuos, que provisionalmente se mantienen en un lugar aislado en las instalaciones del propio centro escolar, rodeadas por otras no contaminadas, a modo de blindaje.

El equipo de la misión también tuvo la oportunidad de visitar, para observar de primera mano, otros proyectos modelo, como una zona urbana común, un campo de arroz, un incinerador prototipo y un área forestal con una zona residencial próxima.

Con todos estos proyectos se están preparando guías de actuación que permitan, en muchos casos, que personas no especializadas puedan llevar a cabo las tareas, mediante procesos muy simples, que no requieran grandes conocimientos ni el uso de utensilios sofisticados, siempre bajo la supervisión de los especialistas, el apoyo financiero y técnico del Gobierno y el control de las autoridades municipales. El objetivo es tanto multiplicar el número de personas que desarrollen el trabajo como implicar a la población directamente, que no sean meros receptores pasivos de la tarea sino que practiquen la autoayuda, lo que además les permitirá conocer mejor los riesgos y las pautas de actuación en general. Todas estas tareas cuentan con el apoyo técnico de la JAEA, institución que aporta la garantía de solvencia técnica. Pero la idea fundamental es aproximarse a las necesidades de cada comunidad, haciendo que sean los propios residentes quienes definan sus problemas específicos y la forma en que prefieren solucionarlos.

Como colofón de las actuaciones, habrá que verificar, antes de que las personas vuelvan a las áreas afectadas, que se han conseguido los objetivos propuestos, volviendo los equipos de monitorización a estudiar la zona y medir la reducción de dosis alcanzada. Posteriormente, con la actividad casi normalizada, habrá que seguir realizando un control permanente en todos los lugares donde se mantenga una contaminación residual.

Durante los días previos a la realización de la misión del OIEA, los miembros del equipo analizamos la documentación aportada y generamos cuestionarios sobre los aspectos que suscitaban dudas o requerían información complementaria. Estas preguntas fueron remitidas a los técnicos japoneses correspondientes para que fueran preparando sus contestaciones.

Ésta fue la base de las reuniones, tanto técnicas como de carácter institucional, que mantuvimos con representantes del gabinete del primer ministro; de los ministerios de Medio Ambiente, de Agricultura, Pesca y Alimentación, de Educación, Ciencia y Deporte, y de Asuntos Exteriores; con miembros de la Agencia de Energía Atómica de Japón (JAEA) y del organismo regulador (NISA), así como con responsables de la prefectura y de los municipios. Con cada uno de ellos debatimos en función de sus responsabilidades en el programa, a partir de las preguntas que habíamos enviado previamente y tomando como referencia básica los estándares internacionales, fundamentalmente la normativa del OIEA y las recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección radiológica (ICRP). Para responder a las cuestiones planteadas realizaron presentaciones específicas que habían preparado previamente. Obviamente, en la interacción surgieron más dudas y preguntas. Además, con estas reuniones se intercalaron las visitas específicas a las zonas de interés y a la propia central, de manera que al regresar a Tokio, para continuar las reuniones, se presentaban nuevas cuestiones suscitadas a partir de lo que habíamos observado.

Conclusiones preliminares de la misión

Tras las reuniones y las visitas, el equipo de la misión elaboró in situ un documento de conclusiones preliminares que fue presentado al Gobierno japonés y a los medios de comunicación y que, básicamente, contiene las principales conclusiones de la misión. Se prevé que el informe definitivo, que se está elaborando en estos días, mantenga las conclusiones principales, aunque ampliará las explicaciones que las soportan.

Acorde con los usos de las misiones del OIEA, las conclusiones contienen dos apartados, uno de reconocimientos, que equivale a lo que suele llamarse buenas prácticas, y otro de sugerencias para la mejora. En total se emitieron nueve reconocimientos y doce recomendaciones, pero en este caso las cifras tienen escasa importancia, ya que muchos de los puntos pueden agruparse por ser aspectos concretos de una misma consideración. En cualquier caso, hay que subrayar que las propuestas de mejora no deben entenderse como un cuestionamiento del programa, ya que el equipo considera que se trata de un proyecto serio, factible, bien sustentado y ambicioso.

Este respaldo es objeto del primer y principal reconocimiento. El programa tiene los fundamentos legales, formales y conceptuales adecuados; es decir, una ley sobre la cual se sustenta todo el programa, una organización que distribuye las responsabilidades, unos instrumentos financieros, humanos y técnicos adecuados y un proceso de implantación previsiblemente eficaz. La coordinación está bien gestionada a través del Grupo de Asistencia a los Afectados por el Accidente Nuclear, creado por el gabinete del primer ministro y compuesto por 78 personas, que está pilotando todo el programa y se coordina con los grupos locales de emergencia de la prefectura y con los de los municipios afectados.

La organización con la que se trabaja es estable y está sentada sobre unas bases de protección radiológica perfectamente establecidas. Las autoridades japonesas saben dónde están y adónde quieren ir, en términos de dosis a corto, medio y largo plazo. Han establecido un sistema de prioridades adecuado y razonable. Se reconoce el valor del equipo encargado de ponerlo en práctica; también el hecho de que se haga con la participación de todas las partes interesadas, las autoridades locales y los propios ciudadanos residentes en la zona, así como el compromiso de afrontar el problema y el papel de la JAEA

El equipo del OIEA visita el proyecto modelo de rehabilitación de un campo de arroz en Litate (G. Verlinni-OIEA).

como organismo técnico fiable y capaz de llegar a soluciones viables.

Se entiende que es muy positivo el plan de proyectos piloto de demostración, que conllevan varios beneficios, como el desarrollo tecnológico que generarán y la transferencia de conocimientos a los residentes. Además, específicamente, se destaca el hecho de que ya se hayan realizado intervenciones en 400 escuelas. Del mismo modo, se reconoce la capacidad para la caracterización radiológica de las áreas, mediante equipos móviles y laboratorios, y de ofrecer información en tiempo real en puntos de información públicos, con pantallas e información impresa para la población.

Se reconoce que en la fase primera de la emergencia fue correcto actuar con criterios conservadores, por la poca seguridad existente sobre la evolución de los acontecimientos y la elevada incertidumbre, lo que hacía razonable en aquel momento aplicar el principio de precaución. Este reconocimiento se hace, en parte, para explicar bien una de las recomendaciones que plantea un equilibrio diferente entre los principios de precaución y de optimización en esta fase de recuperación.

Resumiendo y explicando también las recomendaciones, sin necesidad de enumerarlas, cabe destacar la importancia de aplicar un concepto bien establecido internacionalmente en el ámbito de la protección radiológica: que lo fundamental no es necesariamente reducir la contaminación sino reducir la dosis que pudiera recibir la población. Por ello, aunque la descontaminación es una herramienta fundamental, no es el único medio de rehabilitación adecuado y podría resultar, en algunos casos, contraproducente si los beneficios en reducción de dosis no compensan suficientemente los costes asociados, no sólo económicos, sino desde el punto de vista de alteraciones del medio, de las dosis recibidas por los trabajadores y de la generación de residuos, que a su vez se convierten en un problema añadido.

En el ámbito urbano, normalmente habrá que proceder a descontaminar para reducir dosis, pero en un área forestal, por ejemplo, la mejor medida puede ser aislarla y restringir las visitas y las actividades en la misma. Esta simple medida, que tan sólo afecta a determinados hábitos de las personas, puede conseguir un beneficio más óptimo en disminución de dosis que la descontaminación en sí misma, dado que para realizarla hay que alterar el medio natural, eliminar una capa de suelo importante para el futuro del bosque, someter a los trabajadores encargados de la descontaminación a una exposición y generar residuos que luego hay que gestio-

nar. Por ello, puede resultar mejor el aviso a la población para que no frecuente esas zonas, o recomendar que limiten su estancia y que no consuman bayas, setas u otros productos silvestres.

Hay que tener en cuenta que la zona afectada es muy verde, con mucha superficie forestal, con poblaciones pequeñas, las más grandes tienen pocos miles de habitantes, y están ubicadas en entornos rurales. En los 1.000 km^2 afectados por el criterio de los 20 mSv/año, aproximadamente el 75% son bosques muy frondosos y en terrenos escarpados, donde resulta muy difícil actuar. Del resto, hay un 10% de agricultura general, un 10% de monocultivo de arroz y un 5% de zona urbana.

En esta consideración, la ambición del programa podría resultar contraproducente y no ofrecer resultados óptimos en términos de reducción de dosis, que debería ser la clave de las actuaciones. De acuerdo con los estándares y recomendaciones internacionales, tanto del OIEA como de la ICRP, lo que se haga tiene que estar justificado y maximizar el beneficio neto que se obtenga. Si se descontamina un bosque, el beneficio en reducción de exposición puede ser muy pequeño en comparación con los costes de todo orden que se ocasionarán.

En esta misma línea, en el caso de la agricultura hay que tener en cuenta que el criterio a considerar es la exposición del público por el consumo de los productos. Se trata de que lleguen al mercado en unas condiciones de contaminación que estén por debajo de los límites y referencias internacionales. Por ejemplo, en el caso del arroz son 500 becquerelios por kilo. Si se utiliza un factor de transferencia del contaminante entre el suelo y la planta muy conservador, se considerarán contaminados muchos suelos que, sin embargo, no tienen la potencialidad real de producir cosechas que superen el límite de contaminación en el producto final. El equipo de la misión tuvo la impresión de que en el proyecto de demostración se estaban manejando factores de transferencia suelo-planta varias veces mayores que los recomendados por los estándares internacionales en condiciones normales.

Por todo ello, una de las recomendaciones es la conveniencia de eliminar los conservadurismos extremos en las actuaciones de rehabilitación y potenciar la optimización de las mismas mediante la utilización de análisis más realistas. Se sugiere que, para favorecer esta concepción, participen más expertos en protección radiológica, incluyendo al regulador japonés, NISA, que actualmente está más centrado en el seguimiento de los trabajos de recuperación en la central nuclear. Es de señalar que el Gobierno japonés ya ha decidido que este regulador pasará a integrarse en el ámbito del Ministerio de Medio Ambiente en lugar de depender del Ministerio de Industria, con el fin de mejorar su independencia real.

Visita al proyecto de rehabilitación de la Escuela Primaria Tomari, Date (G.Verlinni-OIEA).

Una deficiencia del programa, reconocida por los propios técnicos japoneses, es el hecho de que aún no se haya podido definir un lugar, ni temporal ni definitivo, donde llevar los residuos radiactivos que se generen por las labores de descontaminación, aunque el programa prevé la construcción de este tipo de infraestructuras. Japón cuenta con un almacén para residuos de media y baja actividad, semejante al de El Cabril en España, pero pertenece al sector privado. El problema al que se enfrentan es de aceptación social, porque han planteado diversas opciones sin conseguir emplazamiento alguno. Entre ellas estaba la posibilidad obvia de construir unos almacenes temporales, y más tarde otros definitivos, dentro de la propia prefectura, porque así se optimizarían recursos de transporte, pero las autoridades locales hasta ahora no han mostrado buena predisposición para albergar estas infraestructuras en el territorio afectado.

Sin duda, este aspecto aún sin resolver acabará encontrando solución, pero mientras no se consiga seguirá siendo el punto más débil del programa. Además, si no asumen las recomendaciones sobre la mejora de la optimización de las

Visita al proyecto de rehabilitación de la Escuela Primaria Tomari (patio), Date (G.Verlinni-OIEA).

actuaciones de descontaminación, el problema se agrandará, porque se generará un volumen importante de residuos.

En esta misma línea de criterios excesivamente estrictos se encuentran las medidas de desclasificación de materiales, lo que lleva a considerar residuo radiactivo aquellos con valores de contaminación inferiores a los que se recomiendan en las normas internacionales del OIEA. Por ejemplo, para el cesio-137 el nivel de exención establecido en las normas básicas de seguridad, o en la reglamentación española, es diez becquerelios por gramo, mientras que en el programa japonés de rehabilitación se están aplicando a ocho, a pesar de tratarse de una situación especial, en la que sería aceptable un nivel superior al definido para situaciones normales. Muchos de estos materiales se podrían tratar como residuos peligrosos convencionales, que no requieren condiciones de inmovilización tan exigentes como los residuos radiactivos. Incrementar, por tanto, el volumen de residuos radiactivos innecesariamente puede generar un problema para su gestión, que en un caso como el actual, sin disponer aún de un lugar donde almacenarlos adecuadamente, alcanza mayor gravedad.

Las conclusiones contienen también sugerencias menores y más concretas. Una es la necesidad de colocar señalización e indicaciones claras a la entrada y salida de la zona de realojamiento (zona de evacuación deliberada), por cuyas carreteras se puede transitar en coche sin que exista información adecuada ni recomendaciones de actuación, en contraste con la zona restringida, en la que no se puede entrar sin autorización específica y está permanentemente vigilada. Otra es la conveniencia de implicar en el programa a más expertos pertenecientes a centros de investigación o universidades, que pueden aportar conocimiento y, sobre todo, un aumento de la credibilidad de las actuaciones programadas.

Como conclusión final, por un lado, considero que la misión ha cumplido sus objetivos de conocer el programa, evaluarlo y plantear una asistencia técnica. Por otro lado, y como mensaje al público en general, cabe destacar que Japón tiene un programa serio de rehabilitación para afrontar un problema complicado como es aliviar las condiciones de vida de los ciudadanos afectados por el accidente en la central nuclear Tepco-Fukushima. Interpretamos que el programa es solvente y puede conseguir sus objetivos, aunque obviamente su implantación requerirá tiempo y por tanto paciencia.

ARTÍCULO

Los métodos de análisis de riesgo en radioterapia: Análisis Probabilístico de Seguridad (APS)

› María Luisa Ramírez Vera[a], Arturo Pérez Mulas[a], José Miguel Delgado[b], Marta Barrientos Montero[a], Fernando Somoano[c], Carmen Álvarez García[a], Manuel Rodríguez Martí[a], [a]Consejo de Seguridad Nuclear; [b]Hospital 12 de Octubre de Madrid; [c]ELEKTA

El conocimiento y las lecciones aprendidas sobre accidentes ocurridos en radioterapia resultan muy útiles para prevenir su repetición, aunque no siempre es suficiente. Pueden existir errores latentes que no han sido reportados o que no han ocurrido todavía pero que podrían hacerlo si no se identifican y previenen. Los métodos proactivos se caracterizan por anticipar y cuantificar el riesgo asociado a estos posibles sucesos. En este trabajo, el método de análisis probabilista (APS) aplicado con éxito en otros campos se ha adaptado a la práctica de radioterapia presentándose los hallazgos en un proceso del tratamiento con un acelerador lineal.

Introducción

La radioterapia es la especialidad médica que tiene por objetivo curar o controlar el cáncer mediante la irradiación del tumor, minimizando los daños a los tejidos normales. Los tratamientos de radioterapia implican alrededor del 60% de los tratamientos de cáncer; según datos de 2008, en España se llevaron a cabo, 73.924 tratamientos de pacientes con terapia de haces externos o teleterapia [1] lo que da un idea de la magnitud del tema.

Es la única práctica radiológica en la que se sitúa a personas en un intenso haz de radiación para administrar dosis de radiación muy elevadas entre 20 Gy y 80 Gy al volumen de tratamiento o blanco. Esta dosis se fracciona a lo largo de varias sesiones y tanto la sobredosificación como la subdosificación pueden tener consecuencias severas para los pacientes. El proceso radioterapéutico asimismo es complejo, comprende un número elevado de etapas en las que intervienen un grupo multidisciplinar de profesionales.

La protección radiológica del paciente en este tipo de práctica médica se centra por un lado en la optimización, es decir, en proporcionar la dosis de tratamiento prescrita minimizando los efectos en los tejidos sanos, y por otro, en la prevención de los posibles incidentes y accidentes.

Por todo ello, las instalaciones de radioterapia y los procesos que en ellas se realizan están regulados y sujetos a normativas para garantizar una alta seguridad y calidad de los tratamientos [2]. Sin embargo, la experiencia demuestra que pueden ocurrir fallos, tanto de equipo como humanos, que desencadenen un accidente. Los accidentes en radioterapia, aunque no muy frecuentes, han tenido una repercusión muy destacada [3,4] por lo que son objeto de gran interés por las autoridades reguladoras.

Existen numerosos informes de importantes exposiciones accidentales en radioterapia que han proporcionado lecciones [5,6,7,8,9] que se implantaron posteriormente para evitar accidentes similares. Este método de lecciones aprendidas recibe el nombre de "enfoque retrospectivo o reactivo".

El enfoque sobre accidentes pasados aunque necesario y valioso, no es suficiente, ya que nuevos errores, no previstos, pueden seguir produciéndose [3]. Además, un enfoque centrado en los principales accidentes que han tenido consecuencias catastróficas pero cuya probabilidad de ocurrencia es baja, pue-

Proyecto del Foro

El Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores (Foro), del que el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) forma parte, con el objetivo de promover la seguridad en los procesos en radioterapia emprendió un proyecto para explorar dos métodos proactivos para la evaluación de dicha seguridad: el Análisis Probabilístico de Seguridad (APS) y la metodología de matriz de riesgos.

Este proyecto tuvo una duración de dos años y medio e implicó a un grupo multidisciplinar de radiofísicos, radiooncólogos, técnicos, suministradores y reguladores de los países del Foro. El informe completo se encuentra publicado en www.foroiberam y está en proceso de publicación por la Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA).

Los miembros del grupo de trabajo son:

Vilaragut, JJ., Ferro, R., Duménigo, C., Guillén, A. (Centro Nacional de Seguridad Nuclear, La Habana, Cuba), Ortiz López, P. (Organismo Internacional de Energía Atómica, Viena, Austria), Ramírez, M.L., Pérez Mulas, A., Barrientos, M., (Consejo de Seguridad Nuclear, Madrid, España), McDonnell, J.D. (Universidad Nacional de Rosario, Rosario, Argentina), Papadopulos, S. (Autoridad Regulatoria Nuclear, Buenos Aires, Argentina), Pereira, P.P. (Instituto Nacional de Brasil, Río de Janeiro, Brasil), Gonçalves, M. (Dosimetría, del Instituto de Radioproteção e Comissao Nacional de Energia Nuclear (CNEN), Río de Janeiro, Brasil), Morales J. (Instituto Nacional de Oncología y Radiobiología, Cuba), López Morones, (R. Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias, México), Delgado J. M. (Hospital 12 de Octubre, Madrid, España), Sánchez, C. (Instituto Madrileño de Oncología, España), Somoano, F. (ELEKTA, España).

de pasar por alto otros tipos de errores que pueden ocurrir con una probabilidad más alta y con consecuencias menores, pero aún significativas.

Una variante a los "métodos reactivos" que supone un avance, consiste en recopilar información sobre incidentes sin consecuencias o *near misses*, sucesos, que en otro lugar y en otro momento pudieran tener consecuencias [10].

Este método todavía tiene la limitación de que se centra en la experiencia obtenida. Pueden existir otros riesgos latentes y posibles errores que aún no se han producido o que no se han compartido y que están sin resolver. Es ahí donde entran otros enfoques en los que cuestiones como "¿qué más podría salir mal?" o "¿qué otros riesgos potenciales podrían estar presentes?" se plantean de manera proactiva y sistemática.

Otro reto en relación con la seguridad de los tratamientos radioterapéuticos proviene de la creciente complejidad de las nuevas tecnologías y técnicas que se aplican, que están dando lugar a que el enfoque tradicional de los programas de control de calidad basados en listas exhaustivas de pruebas resulte impracticable. Se hace preciso implantar "metodologías proactivas" como los análisis de riesgo que ayudan a gestionar los recursos, incidiendo en aquellos aspectos más relevantes y que complementan a los otros enfoques.

Definición, cuantificación y aceptabilidad del riesgo

Al definir el riesgo se tienen en cuenta los siguientes factores: el daño que se puede producir derivado del funcionamiento inadecuado de la instalación o proceso estudiado, y la probabilidad (o frecuencia, si se fija una referencia temporal) de que se produzca dicho daño. En las aproximaciones más sencillas se toma el producto de estas dos magnitudes como valor numérico del riesgo. Ser capaces de cuantificar el riesgo permite establecer un criterio de aceptabilidad, y poner un valor límite al mismo, por debajo del cual una instalación o un proceso se consideran aceptablemente seguros. Esto significa que aquellas situaciones o escenarios cuyo daño sea muy grave deben tener una probabilidad muy baja, a fin de que el riesgo sea aceptable, mientras que en el caso de sucesos cuyo daño sea leve se puede aceptar una probabilidad mayor.

Los estudios proactivos de riesgo requieren el análisis de los fallos de equipo y errores humanos, de sus efectos potenciales y de las medidas dispuestas para detectarlos y así prevenir la exposición accidental. El análisis debería proporcionar detalles sobre los puntos fuertes y las vulnerabilidades del proceso bajo estudio, en este caso el proceso de radioterapia, sobre los contribuyentes al riesgo global dominantes y las opciones para reducirlo. La descripción de los métodos proactivos [11] y la aplicación de algunos de ellos a la radioterapia en distintos grados [12, 13, 14, 15] pueden consultar en la biografía.

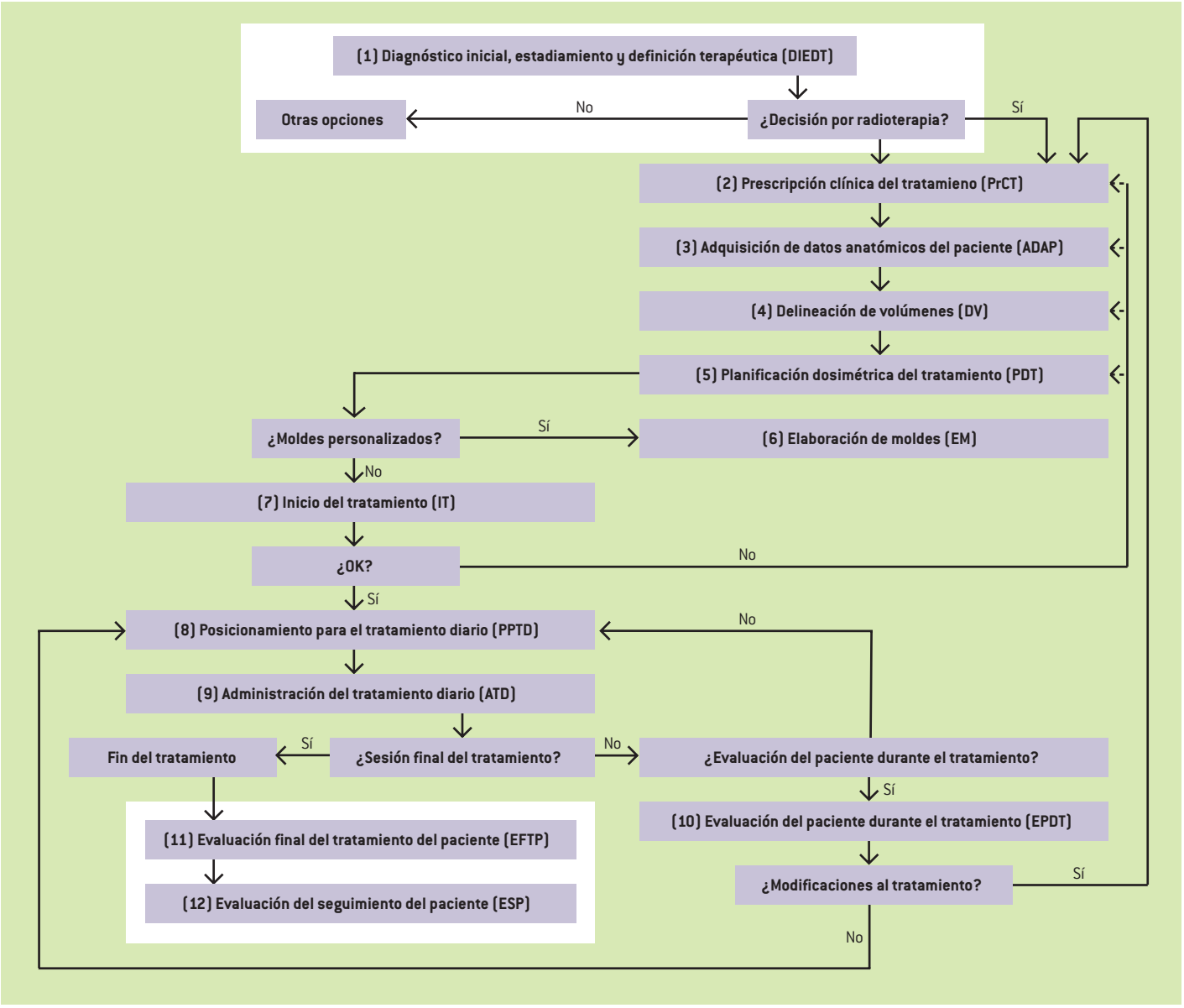


Figura 1. Esquema del proceso de radioterapia analizado.

En este artículo, se describe un resumen del proyecto del Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores (Foro) sobre la aplicación de la metodología de APS al tratamiento radioterapéutico, concretamente, en las exposiciones accidentales potenciales que pudieran ocurrir durante el proceso de tratamiento del paciente con un acelerador lineal de uso médico, debido a fallos de equipos o errores humanos, en todas las etapas desde la prescripción clínica hasta la finalización del tratamiento.

Análisis Probabilista de Seguridad

El Análisis Probabilista de Seguridad (APS) es una metodología reconocida en los campos nuclear, aeronáutico y petroquímico. Emplea herramientas tanto cuantitativas como cualitativas de forma exhaustiva, sistemática y estructurada. Previamente el APS ha sido aplicado a la cobaltoterapia externa [16] y a la terapia con gamma-knife [17].

Para todo estudio de APS en primer lugar se deben determinar y delimitar tanto la actividad, instalación o proceso sobre el que se va a aplicar como en qué consiste el "daño" o "consecuencia indeseada" que deseamos evitar.

Alcance del estudio

En principio, los estudios de APS tienen un carácter específico, ya que se aplican a un proceso o instalación concretos, con sus peculiaridades, equipos, procedimientos, personal y experiencia en fallos y éxitos. Sin embargo, en el proyecto se establece la necesidad de que los resultados del estudio se puedan utilizar, junto con las lecciones aprendidas de los estudios retrospectivos y con la

normativa existente, para elevar los niveles de seguridad de los servicios de radioterapia y hacer más eficaz la actividad reguladora.

Para conciliar las dos demandas antagónicas (especificidad frente a generalidad), se consideró oportuno definir un servicio de radioterapia de referencia con acelerador lineal, que permitiera realizar el APS sobre una base bien especificada, pero que a su vez, fuera suficientemente general como para permitir la extrapolación de los resultados a otros servicios. Un esquema del proceso de tratamiento analizado se muestra en la figura 1 de la página anterior.

Se incluyen además en el servicio hipotético, elementos y condiciones que no siempre están implantadas en la práctica, a fin de poder evaluar su impacto en la seguridad de los tratamientos, como por ejemplo, la dosimetría en vivo periódica.

Este método de suponer un servicio de referencia genérico, facilita la generalización de los resultados, permitiendo que cada servicio de radioterapia tome del mismo lo que le sea aplicable, una vez comparadas su práctica con la del servicio genérico.

Definición de consecuencias

Se considera exposición médica accidental, de acuerdo con las normas internacionales básicas de seguridad a "todo tratamiento terapéutico administrado por equivocación a un paciente o a un tejido, o utilizando un fármaco incorrecto, o con una dosis o fraccionamiento de la dosis que difieran *considerablemente* de los valores prescritos por el facultativo médico o que puedan provocar efectos secundarios agudos indebidos".

En el estudio, las diferencias de dosis total se definieron como "considerables" si llegaban a más de un 10% de la dosis total prescrita, y la diferencia de fraccionamiento de la dosis como "considerable" si no era posible lograr la dosis biológicamente equivalente al fraccionamiento prescrito. Los restantes incidentes son aquellos que o no tienen efectos de consideración o son recuperables, con lo cual, si la recuperación se hace a tiempo, la consecuencia no sería significativa.

Nótese que un efecto no recuperable se puede producir o bien en una sola sesión del tratamiento, o bien por acumulación de errores más leves en varias sesiones, que den como resultado una diferencia considerable entre la dosis administrada y la prescrita. A partir de aquí se utilizará la expresión exposiciones accidentales en lugar de las exposiciones no recuperables.

Etapas del Análisis Probabilista de Seguridad

Mediante el APS se identifican las alteraciones o errores que, de no ser identificados e interceptados por los sistemas de seguridad, conducirían al daño, es decir, aquellos sucesos que pueden ocurrir de forma creíble y que potencialmente conducen a una consecuencia indeseada. En el estudio aquí descrito se han llevado a cabo todas las tareas o etapas que tradicionalmente se requieren en los APS, y se describen a continuación.

El primer paso del análisis es la familiarización con el proceso objeto del estudio, subdividirlo en tareas y responder a la pregunta "¿qué puede ir mal?" o "¿qué otros peligros potenciales podrían presentarse?" para cada tarea. Hay una serie de métodos estándar para hacerlo, como por ejemplo el Análisis de Operabilidad y Riesgos (HAZOP) y el Análisis Modal de Fallo y Efectos (FMEA). En nuestro caso se utilizó el FMEA para identificar los modos de fallo y sus efectos en las medidas de seguridad diseñadas para detectar el fallo.

En la figura 1 se muestran de una forma simplificada las etapas del proceso radioterapéutico al que se le aplicó la metodología: el oncólogo radioterapeuta (RO) prescribe un plan de tratamiento que incluye la dosis total de radiación a administrar, el numero de sesiones de tratamiento, la dosis por sesión, el tipo de inmovilizador y otros accesorios necesarios. El siguiente paso, llevado a cabo por el técnico de imagen, consiste en la simulación de la posición de tratamiento y la adquisición de imágenes mediante, por ejemplo, la tomografía computarizada (CT), para localizar el tumor y el volumen a irradiar. Como el tratamiento se da diariamente y puede durar semanas, es fundamental que el paciente esté posicionado e inmovilizado correctamente para que las condiciones de tratamiento sean reproducibles. Algunos errores que podrían darse en esta etapa son que se tome una imagen incorrecta por ejemplo del área errónea, o del lado erróneo. En la siguiente etapa el RO delimita sobre las imágenes, exactamente, el volumen a tratar, ejemplos de posibles errores que pueden producirse aquí es que se defina un volumen erróneo o que se denominen mal los diferentes volúmenes que hay que tratar. El siguiente paso es responsabilidad del radiofísico (RF), consiste en la planificación dosimétrica del tratamiento prescrito, se emplean sofisticados programas de *software* que incluyen modelos de los haces de radiación del acelerador y que permiten diseñar la disposición de estos haces y calcular la dosis necesaria para llevar a cabo el tratamiento, ejemplos de posibles fallos o errores en esta etapa serían el fallo del programa de *software*, el uso incorrecto de ese programa o el cálculo erróneo de dosis entre otros. Una vez obtenido el plan de tratamiento dosimétrico, se transfiere desde el sistema de planificación a la máquina, aquí pueden producirse errores durante la transferencia, o

hay veces que el plan de tratamiento se introduce manualmente por lo que también se pueden producir errores. La siguiente etapa consiste en la sesión inicial de tratamiento, el RO, el RF y el técnico de radioterapia (RT) simulan y verifican los parámetros de tratamiento y administran la primera dosis; errores que se podrían cometer sería colocar erróneamente al paciente, otro por ejemplo sería utilizar accesorios o inmovilizadores erróneos. Las siguientes etapas se relacionan con el posicionamiento y la administración diaria de la dosis de radiación, esta etapa es responsabilidad del técnico de radioterapia y entre los errores o fallos que se consideran están el fallo del acelerador no detectado o el movimiento del paciente de manera observable durante el curso de la sesión. Hay errores, como es identificar erróneamente al paciente o "paciente erróneo" que pueden producirse en diferentes etapas.

Todos estos modos de fallos (fallos aleatorios de equipos o errores humanos) que pueden desencadenar una serie de sucesos que darían lugar a una exposición accidental los denominamos "sucesos iniciadores". En total se identificaron 118 sucesos iniciadores diferentes. Para comprender mejor esta parte del análisis se presentan en los siguientes párrafos ejemplos concretos y más detallados de la identificación de algunos sucesos iniciadores:

—Durante la sesión inicial del tratamiento se pueden producir errores que serán arrastrados en el resto de las sesiones si no son identificados, dando lugar a una exposición accidental. Para colocar correctamente al paciente en referencia al haz de radiación se emplean tres sistemas de referencia: el del TAC con el que se tomaron los datos anatómicos, el del Sistema Planificador del tratamiento con el que el radiofísico determina la intensidad, dirección y forma de los haces, y el sistema de referencia del propio acelerador. Un error de los técnicos al situar al paciente haciendo coincidir estas referencias (isocentro) daría lugar a que los haces de tratamiento no cubran la zona deseada y además afecten a tejido sano.

—Durante la etapa de administración diaria del tratamiento un ejemplo de suceso iniciador derivado de un fallo de los equipos es una posición errónea de las láminas del colimador multiláminas que conforma el haz de radiación de acuerdo con el volumen a tratar. Si los sistemas automáticos y verificaciones de los técnicos que detendrían el tratamiento ante esta eventualidad fallaran, el paciente recibiría una dosis mayor o menor que la prescrita y en un volumen diferente del indicado, en función de cómo sea el error de posicionamiento de las láminas (podría quedar sin tratar tejido tumoral, o recibir más dosis de la debida en el tejido sano). Este suceso iniciador puede ocurrir por distintos caminos: puede ser originado por un error del *software* controlador del acelerador lineal o por un fallo de los motores que desplazan las láminas, o por un fallo de los detectores de posición de las mismas.

El siguiente paso del análisis consiste en, para cada iniciador, identificar las barreras que se interponen a su evolución hacia un accidente. Estas barreras pueden ser tanto sistemas de seguridad como acciones y procedimientos y protocolos. Ejemplos de diferentes barreras que se han identificado en este proceso son, entre otras, los enclavamientos de *hardware* y de *software* de que dispone el acelerador, las pruebas de control de calidad a las que se someten los equipos y sistemas que intervienen; las tareas de verificación, por ejemplo: la revisión independiente por otro RF del cálculo de dosis obtenido en la planificación dosimétrica del tratamiento, la aprobación del plan de tratamiento por parte de RO y del RF; la verificación del volumen a tratar mediante la realización, durante el inicio del tratamiento, de imágenes con el propio haz de radiación, lo que se denomina imágenes portales; la monitorización por parte de RT y la revisión por parte del RO del paciente para identificar reacciones no esperadas al tratamiento y los sistemas de identificación de un paciente.

En relación al primero de los ejemplos de los sucesos iniciadores anteriores las barreras identificadas para detectar el error son aquellas que permitirían detectar el fallo en la geometría del tratamiento que se va a realizar: los procedimientos habituales en radioterapia contemplan, tras colocar al paciente, una verificación de un conjunto de parámetros relacionados con la localización del isocentro; si esta verificación se omitiera o se cometiera algún error al realizarla, durante la misma sesión inicial existen dos posibles barreras más: en primer lugar la realización y revisión de la imagen radiográfica o digital (imagen portal) del paciente en la posición adoptada, lo que permitiría al radiooncólogo identificar errores de posición y en segundo lugar, la mayoría de los tratamientos conllevan el uso de más de una posición del haz, con lo cual, al determinar las posiciones adicionales, se puede identificar también el error producido. Si el error no ha sido identificado, la primera sesión de tratamiento se realizaría incorrectamente. Si las barreras adicionales existentes en sesiones y etapas posteriores (la imagen portal periódica y las revisiones médicas de control del paciente) identifican el error, una replanificación del tratamiento podría evitar un mayor error en la dosis y en la localización. En cambio si estas barreras adicionales fallaran el error se mantendría, acumulándose las dosis erróneas y dando lugar a la exposición accidental.

Árbol de sucesos para el suceso Iniciador: "Realización de la TAC de simulación con parámetros geométricos erróneos debido a un error humano"

Suceso Iniciador	Barrera 1	Barrera 2	Barrera 3	Barrera 4	Barrera 5	Sec	Frecuencia (1/año)	Consecuencias
	Delineación de volúmenes	Delineación y conformación del volumen blanco de planificación durante la planificación dosimétrica	Revisión de la imagen portal por el físico médico y el radiooncólogo durante el Inicio del tratamiento	Imagen portal periódica durante el tratamiento	Revisión médica del paciente			
	Éxito					1		Sin consecuencias
	Fallo	Éxito				2		Sin consecuencias
		Fallo	Éxito			3		Sin consecuencias
					Éxito	4	4,598 E-002	Incidente recuperable que afecta a un solo paciente
			Fallo	Éxito	Fallo	5	5,322 E-003	Exposición accidental de un solo paciente
				Fallo	Éxito	6	5,251 E-003	Incidente recuperable que afecta a un solo paciente
					Fallo	7	5,849 E-004	Exposición accidental de un solo paciente

Figura 2. Ejemplo de árbol de sucesos.

En comparación, el segundo suceso iniciador mostrado como ejemplo tiene el interés de que las primeras barreras son sistemas automáticos: en el acelerador lineal existen sistemas automáticos (ópticos y mecánicos, generalmente redundantes) para detectar la correcta posición de las láminas que conforman el haz, comparándolas con la posición teórica definida en la planificación, y, en su caso, impedir que se realice la irradiación. En caso de fallo de estas barreras, la realización de imagen portal (en la sesión inicial o en las posteriores) podría permitir que se detecte el error en la posición de las láminas, evitando así el tratamiento que de otra forma produciría una exposición accidental.

Los fallos de estas barreras se producirían al omitir o realizar incorrectamente estas acciones. Nos referiremos a la evolución que se deriva de un suceso iniciador y del posible fallo de las barreras como "secuencia accidental".

Para determinar la evolución y representar gráficamente las secuencias accidentales a partir de cada suceso iniciador hacia una consecuencia indeseada a través del fallo de las sucesivas barreras se emplearon los denominados árboles de sucesos (figura 2). En dichos árboles, las secuencias accidentales vienen representadas por las distintas ramas del árbol.

La frecuencia de cada secuencia accidental se obtiene multiplicando la frecuencia del suceso iniciador por la probabilidad de la combinación de éxitos y fallos de las barreras que configura dicha secuencia. La estimación de las probabilidades de ocurrencia de un iniciador y de éxito o fallo de cada barrera se lleva a cabo descomponiendo el iniciador y los fallos de las barreras en fallos más elementales cuya frecuencia o probabilidad sea conocida o pueda estimarse. Estos fallos elementales se denominan sucesos básicos y pueden representar tanto un error humano como un fallo de un componente. Esta descomposición de los fallos de las barreras en combinaciones de sucesos básicos se representa lógica y gráficamente mediante árboles de fallo (figura 3).

Dada la escasez de datos estadísticos de la fiabilidad de los equipos de radioterapia que pudieran ser usados en el proceso de cuantificación, se emplearon bases de datos genéricas de diversas fuentes [18,19]. Estos valores los denominamos "valores de cribado" (*screening*). Este procedimiento se recomienda en la aplicación del APS a campos en los que se emplea por primera vez. De forma similar, los valores de cribado se emplean también para las probabilidades de fallo humano [20]. Los valores de cribado son ligeramente conservadores, y su presencia incrementa la incertidumbre.

Así, los datos de probabilidades de cada suceso básico, introducidos en la lógica formada por los conjuntos de

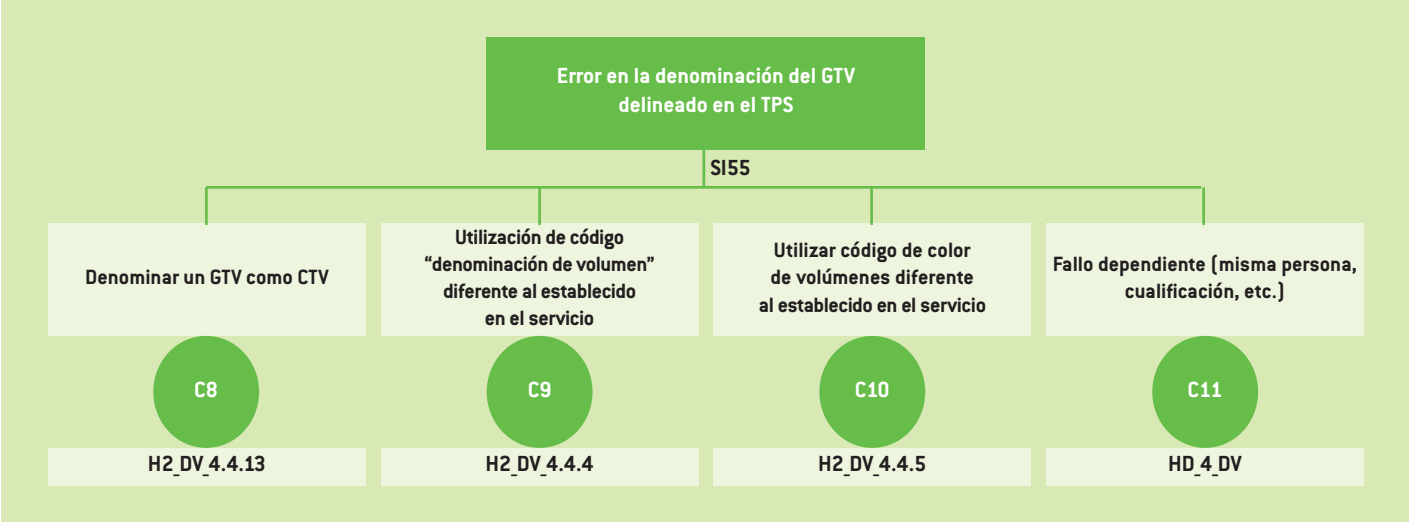


Figura 3. Ejemplo de árbol de fallos correspondiente a un Suceso Iniciador en la Etapa de Delineación de Volúmenes.

árboles de suceso para cada iniciador y árboles de fallo para cada barrera, mediante las reglas del Álgebra de Boole y de las probabilidades [21] permiten obtener la probabilidad de ocurrencia de cada secuencia accidental. A estas probabilidades, medida del riesgo para una consecuencia dada, contribuyen los posibles fallos identificados mediante el APS, hayan o no ocurrido realmente en una instalación, lo que muestra el carácter prospectivo del estudio.

La cuantificación para obtener la frecuencia de cada secuencia accidental también genera lo que se denomina conjuntos mínimos de fallo, cada uno de los cuales representa una combinación de fallos elementales (sucesos básicos) que pueden conducir al suceso indeseado, por lo que el APS, al determinar los conjuntos mínimos, no sólo permite calcular la frecuencia de las consecuencias indeseadas, sino que además informa de qué elementos del proceso son los que más contribuyen a dicha frecuencia.

Finalmente se llevaron a cabo análisis de sensibilidad e importancia para determinar los elementos más significativos desde el punto de vista de la seguridad y dar recomendaciones para mejorarla.

Análisis de importancia

En los apartados anteriores se ha explicado cómo se determinan las secuencias accidentales. Esta forma de presentar la información es útil para conocer el perfil de riesgo de la instalación hipotética de referencia y sus procesos pero no permite identificar y seleccionar cuáles son los elementos y actuaciones más eficaces para reducir dicho riesgo. Para lograrlo se utiliza el denominado análisis de importancia. Éste permite cuantificar cuánto varía el riesgo total como resultado del fallo o del éxito de los distintos elementos. Estos elementos pueden ser de diversa índole, tales como sucesos iniciadores, fallos de equipo o errores humanos, o barreras.

Aunque existen distintos tipos de análisis de importancia, todos éstos tienen en común el permitir clasificar u ordenar dichos elementos en razón del aumento de riesgo que ocasionaría su fallo o la disminución de riesgo que aportaría una mejora de su fiabilidad.

Con el análisis de importancias, además de identificar los sucesos de mayor contribución se puede identificar alguna barrera que intervenga en muchos iniciadores simultáneamente, con lo cual, mejorando la fiabilidad de esta barrera se reducen las contribuciones de todos esos iniciadores, y se logra una mayor reducción del riesgo total.

Análisis de sensibilidad aplicado a las barreras

Como se ha descrito, el estudio se centró en un servicio de radioterapia hipotético con características definidas, con su programa de garantía de calidad, sus comprobaciones y otras barreras. Los resultados del estudio muestran la importancia de cada modo de fallo y error humano, es decir, cuánto contribuye al riesgo total en el servicio hipotético. Pero si otro servicio de radioterapia tiene características distintas al hipotético, faltando algunas de sus barreras o existiendo otras distintas, los resultados de este estudio no son directamente transferibles al mismo y no se podrían aprovechar directamente algunas de sus conclusiones.

Para ayudar a tratar esta situación, se han estudiado el aumento de riesgo que acarrearía el que ciertas barreras no existieran, lo cual permite aplicar el estudio a otro servicio de radioterapia en el que dicha barrera no esté presente, y por tanto no sea exactamente igual que el servicio hipotético postulado en este estudio.

Lo que se calcula en este análisis es el incremento de riesgo que supone la

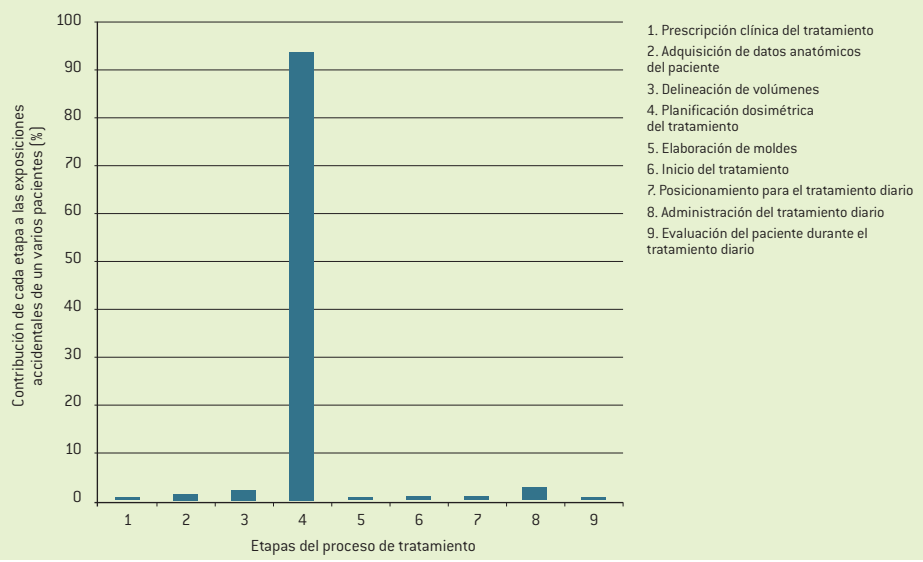


Figura 4. Riesgo para exposiciones accidentales a múltiples pacientes en cada tipo de tratamiento.

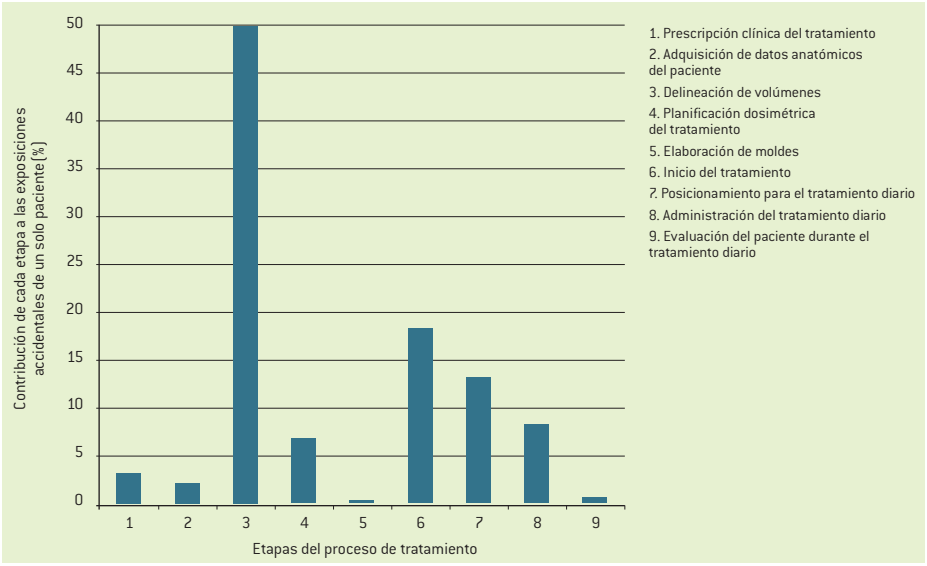


Figura 5. Riesgo para exposiciones accidentales a un solo paciente.

eliminación de una barrera, es decir el cociente entre la frecuencia de las exposiciones accidentales de todas las secuencias en las que interviene la barrera y la frecuencia de dichas secuencias si la barrera no estuviera presente.

Incertidumbres del estudio y su tratamiento

En cada paso del proceso de cálculo en la metodología de APS se utilizan valores numéricos y modelos que conllevan incertidumbres, por lo que resulta imprescindible acompañar los resultados finales con la correspondiente estimación de sus incertidumbres. En un estudio cuantitativo de riesgos los principales contribuyentes a las incertidumbres globales proceden de áreas en las que existen pocos datos de entrada y de aquéllas en las que predominan las incertidumbres en los modelos. Ejemplos de datos escasos son los de las frecuencias de errores humanos, la de los fallos interdependientes y las de fallo de *software,* entre otros.

Como parte del estudio se realizó no sólo un análisis cualitativo detallado de incertidumbres sino también un análisis cuantitativo, aplicando Montecarlo, de los valores absolutos de los resultados generales del APS [22].

Resumen de los resultados

Como resultado del Análisis Modal de Fallos y Efectos FMEA, se identificaron 295 posibles errores humanos y 158 posibles fallos de equipo. Estos errores y modos de fallos se agruparon finalmente en 118 tipos de sucesos iniciadores. Asimismo se identificaron en el servicio genérico de radioterapia un número de 120 medidas de seguridad o barreras cuyo objetivo es detectar fallos e impedir la progresión de errores hacia un accidente. También fueron analizados e incorporados en el análisis 259 posibles modos de fallo que conducen al fallo de estas barreras. En conjunto, la combinación de fallos de barreras y de sucesos iniciadores dio lugar a 434 posibles secuencias accidentales de las que a su vez 115 podían dar lugar a exposiciones accidentales de múltiples pacientes y otras 143 podían conducir a la exposición accidental de un solo paciente. El resto de las posibles secuencias, al incluir el éxito de alguna barrera, no daban lugar a daño.

Los resultados muestran, dentro del proceso radioterapéutico, qué etapas o subetapas son de mayor riesgo; qué fallos o errores de barreras van a ser dominantes en cada tipo de exposiciones; y cuál es la importancia en términos de riesgo de determinadas barreras. Aunque los resultados obtenidos del APS abarcan mucho más de lo que se puede describir en un artículo se presenta aquí un resumen de los mismos.

Del total de incidentes que involucran a pacientes, los más frecuentes son los incidentes recuperables (85,7%). Dentro de las exposiciones no recuperables,

es decir aquellas que pueden dar lugar a exposiciones accidentales, las que afectan a un solo paciente contribuyen de manera significativa a la frecuencia total con un (13,9%) del total de incidentes. Finalmente las exposiciones accidentales con múltiples pacientes contribuyen con tan sólo un (0,3%). Los errores humanos predominan sobre los fallos de equipo, debido a la alta fiabilidad de los sistemas y equipos que disponen de una serie de barreras y son objeto de controles periódicos, lo que pone de manifiesto la necesidad de mantener dichas barreras.

Exposiciones accidentales de múltiples pacientes

Aparte de los errores en las etapas de calibración de haz, puesta en servicio y mantenimiento, que se encontraban fuera de este estudio, la etapa más vulnerable del proceso, en relación a accidentes con afectación múltiple, la constituye la planificación del tratamiento, con una contribución muy alta (figura 4).

El análisis demostró asimismo que sólo ocho errores y modos de fallo que se muestran en la tabla 1 aparecen dominantes con respecto a este tipo de exposiciones ya que conducen al fallo de las barreras que pretende detener dichas secuencias accidentales. De estos resultados se deduce que fortaleciendo y cuidando las dos primeras barreras reducimos en más de un 70% la probabilidad de tener este tipo de accidente. Aunque los elementos siguientes que aparecen en la tabla afectan en principio a un solo paciente, si lo que falta es el procedimiento en sí o las directrices para llevarlo a cabo el error ocurrirá siempre o muy frecuentemente afectando en ese caso a varios pacientes aunque sea con una contribución menor. Es decir, un error aislado se convierte en un error sistemático.

El análisis de importancia mostró además que el fallo del *software* aumenta el riesgo de este tipo de accidentes de forma considerable. Por esta razón, es indispensable que el *software* que se emplea en radioterapia cumpla con normas tales como las de la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI). Pero además, se necesita el desarrollo de normas más detalladas sobre seguridad del *software* así como métodos de control de calidad que aseguren que su probabilidad de fallo se mantiene en un nivel muy bajo.

Tabla 1. Contribución individual y acumulada de modos de fallo y errores humanos causantes de fallo de barreras a la frecuencia total de exposiciones accidentales de múltiples pacientes.

Modo de fallo, error humano u otros factores causantes del fallo de barreras, cuyas exposiciones accidentales afectan a múltiples pacientes	Contribución individual	Acumulado
Omitir la revalidación del haz externo en el control de calidad mensual del TPS, o realizarla erróneamente	40 %	40 %
Omitir validar o verificar los sistemas de planificación de tratamiento después de modificar un procedimiento de uso del TPS	35 %	75 %
Omitir la revisión médica de control del paciente durante el curso del tratamiento, o pasar por alto efectos anormales u otros signos externos	5 %	80 %
Omitir la verificación independiente de la planificación dosimétrica por otro físico médico o realizarla erróneamente	3 %	83%
Omitir la observación del paciente por parte del técnico de radioterapia en el tratamiento diario o pasar por alto efectos anormales	3 %	86 %
Omitir la imagen portal u obtener una imagen deficiente para su propósito	2 %	87 %
Omitir o cometer un error con la dosimetría in vivo en la sesión de inicio del tratamiento	2 %	89 %
Omitir la evaluación de la imagen portal en la sesión inicial de tratamiento o realizarla erróneamente	2 %	91 %

Exposiciones accidentales de un solo paciente

Aunque hasta ahora se ha prestado mucha más atención a los accidentes de naturaleza catastrófica con baja probabilidad, el estudio demostró que otros sucesos también con posibles consecuencias graves, y que afectan a un solo paciente, es más probable que ocurran, del orden de 40 veces más que los anteriores.

Las etapas más vulnerables se muestran en la figura 5. Los modos de fallo dominantes se encuentran reflejados en la tabla 2. Muchos de los elementos son comunes a las exposiciones accidentales de múltiples pacientes, aunque sus contribuciones al riesgo son diferentes. Esta diferencia es debida al número de sucesos iniciadores en los que intervienen como barreras (que dependerá de la naturaleza del suceso iniciador), a la frecuencia de esos sucesos iniciadores o a la presencia de otras barreras. Es importante destacar que evitando estos 11 fallos se disminuiría en un 90% la probabilidad de tener este tipo de exposición accidental.

El análisis de importancia destaca por otro lado la transcendencia que ha

Tabla 2. Contribución individual y acumulada de los fallos de equipo y errores humanos de las barreras a la frecuencia anual de exposiciones accidentales de un solo paciente.

Modo de fallo, error humano u otros factores causantes de fallo de barreras frente a los iniciadores que provocan exposiciones accidentales de un solo paciente	Contribución individual	Acumulado[1]
Fallar la dosimetría en vivo, tal como omitirla, producirse un fallo o desajuste de los dosímetros que invalide su calibración	35%	35%
Omitir las revisiones médicas de control del paciente en el curso del tratamiento o pasar por alto efectos anómalos.	20%	55%
No detectar errores de la etapa de delineación de volúmenes al delinear y conformar el volumen blanco (PTV) durante la planificación del tratamiento	10 %	65 %
Evaluar incorrectamente y aprobar el Plan de Tratamiento por parte del físico y el radiooncólogo	7 %	72 %
Cometer errores con la hoja de tratamiento propiciados por su diseño deficiente, desde el punto de vista ergonómico	4 %	76 %
Omitir la verificación del posicionado diario del paciente con respecto a la fotografía de posicionado ubicada en la hoja de tratamiento	4 %	80 %
Cometer un error al verificar la distancia de la fuente a la superficie en la sesión inicial de tratamiento	2 %	82 %
Omitir la imagen portal periódica o cometer un error al evaluarla	2 %	84 %
Omitir la reunión de nuevos pacientes o cometer errores y malentendidos en la misma	2 %	86 %
Omitir la colocación de la fotografía de posicionamiento en la hoja de tratamiento en la sesión de inicio o poner una fotografía cuya calidad es insuficiente para una buena identificación	2 %	88 %
Omitir la activación del enclavamiento por *software* de la continuación del tratamiento, una vez que el radiooncólogo decide modificarlo y, por tanto debería impedirse la continuación del anterior	2%	90 %

[1] Contribución acumulada: suma de la contribución individual del componente y las contribuciones de los elementos que le preceden.

tenido para la seguridad la introducción de los sistemas de registro y verificación ya que su ausencia aumenta el riesgo de exposición accidental a un solo paciente del orden de 70 veces. El mismo análisis muestra que se puede lograr una sustancial reducción del riesgo de exposición accidental de errores relacionados con irradiación a "el paciente equivocado" mediante el empleo de códigos de barras o asignando un espacio para una fotografía del paciente en las hojas de tratamiento y sobre las imágenes radiológicas. Los errores de posicionamiento pueden reducirse mediante la asignación de un lugar específico en la hoja de tratamiento para una foto de la configuración inicial del paciente.

El análisis de importancia también muestra una reducción significativa del riesgo ante la presencia de dos técnicos durante el inicio y administración del tratamiento siempre y cuando sus funciones estén dirigidas a una doble verificación y no tanto a dividirse el trabajo. Es aconsejable además que, al menos uno de los dos técnicos sea el mismo durante la totalidad del curso de tratamiento, pues su ausencia incrementa el riesgo de este tipo de accidente del orden de un 10%.

Discusión

Como complemento a los métodos reactivos tradicionales el APS permitió modelar sucesos de baja probabilidad y altas consecuencias. Este método incluye además un número de características importantes para la radioterapia, tales como la posibilidad de identificar las combinaciones de sucesos que pueden llevar a las exposiciones accidentales y cuantificar el riesgo, lo que permite analizar los sucesos por orden de importancia. El análisis de importancia aporta evaluaciones relativas sobre diferentes modos de fallos, errores humanos o secuencias de accidentes. Proporciona asimismo información cuantitativa sobre el aumento de riesgo, que podría producirse si una barrera (doble verificación, *interlock* o similares) fuera retirada o fallara con certeza o, sobre la reducción del riesgo que implica un sistema de seguridad adicional. Estas características son cruciales para la toma de decisiones informadas por el riesgo.

Una de las limitaciones del APS se encuentra en la incertidumbre asociada a la modelización de la conducta humana y la utilización de datos genéricos. Sin embargo este enfoque es perfectamente válido para obtener valores comparables entre sí, ya que todo el proceso de cuantificación usa el mismo tipo de datos consistentes moderadamente conservadores. Además, la mayoría de la

toma de decisiones requiere sólo de comparaciones relativas en lugar de valores absolutos de riesgo.

En cualquier caso se recomienda la recopilación sistemática de datos pertinentes sobre fiabilidad, específicos de radioterapia y de errores humanos. Adicionalmente un programa de gestión de calidad y una cuidadosa revisión multidisciplinar de cada paso del APS son elementos cruciales en la realización del análisis.

Como observación final se debe señalar que el APS requiere de un esfuerzo considerable y de expertos en la propia metodología por lo que no puede ser llevado a cabo de forma individual. Sin embargo es una herramienta valiosa para la decisión informada por el riesgo, especialmente para elegir entre diferentes opciones o identificar lo que es importante. La evaluación de la seguridad mediante métodos proactivos ofrece una oportunidad para identificar errores latentes que potencialmente pueden llevar a la exposición accidental, incluso si tales errores aún no se han producido o no han sido publicados. Como estrategia global, sería beneficioso realizar un APS para cada nueva tecnología, que permitirá obtener una gran cantidad de información sobre seguridad básica.

Para la realización de este proyecto ha sido precisa la colaboración activa de la administración y el personal de las siguientes organizaciones:

—Hospital de Oncología Dr. Angel Roffo, Buenos Aires, Argentina.

—Instituto Nacional de Brasil, Río de Janeiro, Brasil.

—Instituto Nacional de Oncología y Radiobiología y el Centro Nacional de Electromedicina, la Habana, Cuba.

—Instituto Nacional de Cancerología, México DF, México.

—Instituto Madrileño de Oncología, Madrid, España.

—*ELEKTA*, Madrid, España.

Referencias

[1] *Análisis de la situación, necesidades y recursos de la oncología radioterápica.* Libro blanco SEOR XXI.

[2] Real Decreto 1566/1998 por el que se establecen los criterios de calidad en radioterapia

[3] Peiffert, D., Simon, J.M., Eschwege, F., Epinal "Radiotherapy accident: passed, present, future". *Cancer Radiother.* 2007 Nov;11(6-7):309-12. Epub 2007 Oct 24.

[4] "Radiation Offers New Cures, and Ways to Do Harm". *The New York Times,* Enero. 2010

[5] International Commission on Radiological Protection, Prevention of Accidental Exposure to Patients Undergoing Radiation Therapy, *ICRP Publication 86.* Annals of the ICRP 30 (3), Pergamon Press, Oxford, 2002

[6] International Atomic Energy Agency. "Lessons learned from accidents in radiotherapy", *Safety Reports Series No. 17,* IAEA, Vienna, 2000.

[7] International Atomic Energy Agency. *Accidental overexposure of radiotherapy patients in San José, Costa Rica.* IAEA, Vienna, 1998.

[8] *International Atomic Energy Agency. Investigation of an Accidental Exposure of Radiotherapy Patients in Panamá.* IAEA, Vienna, 2001.

[9] International Atomic Energy Agency, *Investigation of an accidental exposure of radiotherapy patients in Bialystok,* IAEA, Vienna, 2003.

[10] ROSIS database: a voluntary safety reporting system for Radiation Oncology. www.rosis.info

[11] Cox, S, Tait, R. Safety, Reliability and Risk Management. Butterworth-Heinemann. Oxford, UK, 1998.

[12] Huq Ms et al. "A method for evaluating quality assurance needs in radiation therapy". *Int. J. Radiotion Oncology Biol.* Phys. 2008;71 (1 Suppl):S170-

[13] United States Nuclear Regulatory Commission NUREG/CR –6323 UCRL-ID-120051 Relative Risk Analysis in Regulating the Use of Radiation – Emitting Medical Devices. A preliminary Application, USA, 1995

[14] United States Nuclear Regulatory Commission NUREG/CP –0144 INEL-94/0111 A Workshop on Developing Risk Assessment Methods for Medical Use of Radioactive Material, USA, 1995.

[15] United States Nuclear Regulatory Commission Human Factor Evaluation of Teletherapy. NUREG/ CR-6277, USA 1995.

[16] International Atomic Energy Agency. Case Studies in the Application of Probabilistic Safety Assessment: Techniques to Radiation Sources. IAEA TECDOC 1494, IAEA, Vienna, Austria, 2006.

[17] International Commission on Radiological Protection. Protection from Potential Exposure: Application to selected radiation sources. ICRP Publication 76. Annals of the ICRP 27(2). Pergamon Press, Oxford, 1997.

[18] International Atomic Energy Agency. Component Reliability Data for use in Probabilistic Safety Assessment IAEA TECDOC 478, Vienna, 1988.

[19] International Atomic Energy Agency. Generic component reliability data for research reactor PSA, IAEA-TECDOC-930, Vienna, 1997.

[20] Good Practices for Implementing Human Reliability Analysis (HRA) Final Report. NUREG-1792, 2005.

[21] Rasmussen, Norman et al. U.S.NRC, "Reactor Safety Study", WASH-1400, 1975.

[22] NRC NUREG sr1855v1 Guidance on the Treatment of Uncertainties Associated with PRAs in Risk-Informed Decision Making, 2009.

Información correspondiente al II trimestre de 2011

58
Instalaciones

64
Seguridad física

66
Notificación de sucesos

67
Gestión de emergencias

68
Acuerdos del Pleno

Instalaciones

Centrales nucleares

Almaraz I y II

Durante este periodo la unidad I estuvo operando al 100% de potencia hasta el 20 de mayo. Ese día se produjo la parada automática del reactor por la apertura de un interruptor de disparo durante la realización de un procedimiento de vigilancia. Se acopló a la red al día siguiente y alcanzó de nuevo plena potencia el día 24. El 11 de junio se redujo carga hasta el 99% por estar presente la alarma de fallo crítico en el sistema de Cross Flow y al día siguiente se inició la bajada de carga hasta su desacoplamiento de la red para dar comienzo a las actividades programadas para la vigésima primera parada de recarga de combustible y mantenimiento.

La unidad II inició el periodo operando al 92% (antiguo 100%), a la espera de la aprobación por el Consejo de Seguridad Nuclear de las pruebas realizadas tras el aumento de potencia, y continuó en esta situación hasta el 13 de abril, fecha en la que se inició la subida de potencia, tras recibir dicha autorización, alcanzando el 100% al día siguiente. Entre los días 3 y 7 de mayo se realizó la prueba de funcionamiento de 100 horas al 100% de potencia para la determinación de la potencia instalada tras la implantación del aumento de potencia, con el resultado de una potencia bruta de 1.044,45 MWe y una potencia neta de 1.005,83 MWe.

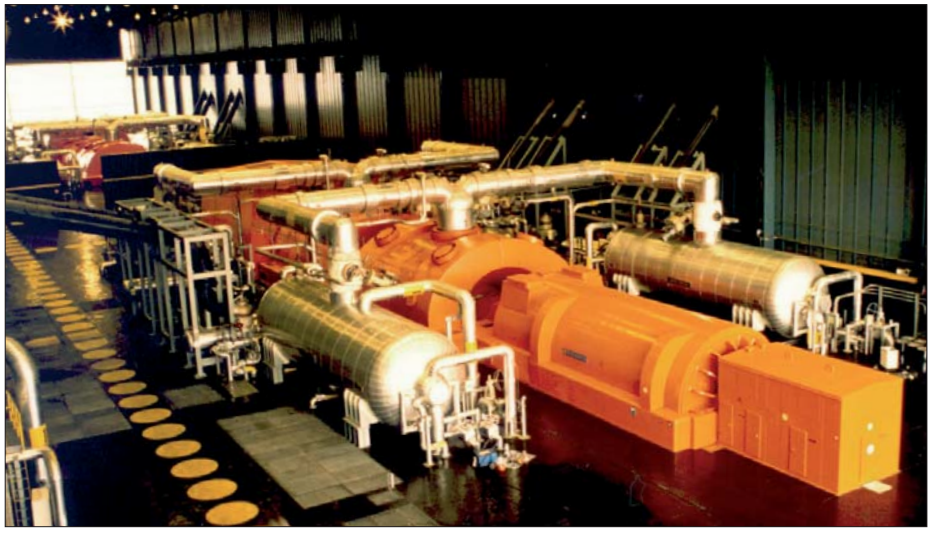
El 9 de mayo se redujo la potencia hasta el 90% por la anomalía de una válvula de parada de recalentado durante la realización de la prueba trimestral de válvulas de turbina. Una vez subsanada la anomalía, el mismo día, se subió de nuevo al 100% de potencia.

El 2 de junio se produjo el disparo de la turbina +P7, debido a la actuación del relé de protección de grupo 86-2/G2, durante trabajos de mantenimiento. Ese mismo día, el reactor se hizo de nuevo crítico. Se acopló a la red el día 3 y alcanzando el 100% de potencia nuclear el día 5.

El día 7 de junio se redujo la carga hasta el 93% de potencia nuclear, para realizar una intervención de mantenimiento en la bomba de drenaje de los calentadores HD2-PP-01A. Finalizada dicha intervención, el día 9, se puso de nuevo en servicio la bomba y se subió la potencia hasta el 100%.

La unidad operó el resto del periodo al 100% de potencia.

Durante el trimestre el CSN ha realizado nueve inspecciones.



Turbina de la central nuclear Almaraz.

Ascó I y II

Durante el trimestre, la unidad I ha comunicado los ocho sucesos notificables siguientes, todos ellos calificados como 0 en la Escala Internacional de Sucesos Nucleares (INES):

El 14 de abril se produjo un conato de incendio en un panel local (PL-562) de conmutación eléctrica, entre los centros de control de motores, situado en el edificio de auxiliar, que fue sofocado de inmediato. La causa fue un cortocircuito en las conexiones de entrada del seccionador S2.

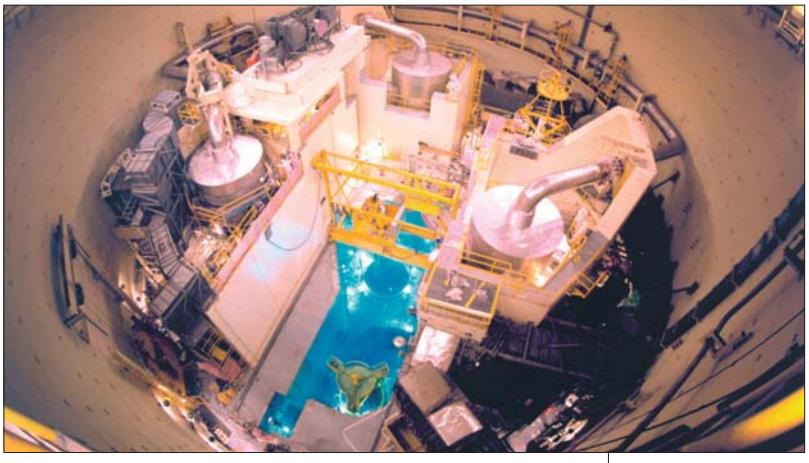
El 27 de abril se produjo la pérdida de inventario de unos 25 m^3 de agua en el sistema de refrigerante del reactor con la planta en parada por recarga y el combustible en la vasija, debido a la apertura automática de una válvula durante una comprobación. En ningún momento se produjo un incremento de las lecturas de los monitores de radiación de área y de la atmósfera de contención.

El 3 de mayo un empleado que se encontraba realizando una ronda de inspección en el edificio de contención sufrió un infarto de miocardio agudo. Fue trasladado al servicio de urgencias del hospital comarcal de Mora d'Ebre.

El 9 de mayo se produjo la apertura automática de los dos interruptores de disparo del reactor, al superarse el punto de consigna del detector de Rango Fuente N-32, durante la ejecución de una prueba funcional. Se ha determinado que la desconexión de los cables de mínima tensión y mínima frecuencia induce una oscilación de la señal, que puede provocar la superación de su punto de consigna y, en consecuencia, la apertura de los interruptores de parada del reactor con la consiguiente inserción de barras.

El 20 de mayo, en el proceso de puesta en marcha de la planta, tras la vigesima primera recarga, se detectó que el punto de consigna de apertura de las válvulas de seguridad C del presionador 1/V10039 mostraba un valor de +1,5%, superando la tolerancia del ±1% señalada en las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento. Se reajustó su punto de consigna, en un plazo de 10 minutos.

El 1 de junio, durante la recarga, se observó un depósito de boro en una línea de toma de muestras del sistema de refrigerante primario, aguas arriba de la primera válvula de aislamiento del recinto de contención, producido por un poro en una soldadura.



Operaciones de recarga en la central nuclear de Ascó.

El 20 de junio se produjo un incumplimiento del requisito de vigilancia del canal de subtension y subfrecuencuencia de las barras 2A, 3A y 4ª. Durante la revisión del procedimiento de vigilancia trimestral se observó que en la secuencia de instrucciones queda sin verificar, en cada subcanal, la actuación de un relé y su contacto asociado, como requieren las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento. La cadena lógica sí que se comprobaba íntegramente con periodicidad de 18 meses.

El 29 de junio, durante una sesión formativa, se activó el mecanismo de parada en la turbobomba de agua de alimentación auxiliar, por actuación del dispositivo mecánico de parada por exceso de velocidad. La alarma diseñada para avisar de esta situación no estaba presente en el correspondiente panel de alarmas de la sala de control, debido a un error de montaje del sistema de señalización.

Por su parte, la unidad II tuvo tres sucesos notificables, uno común con la unidad I, el 20 de junio, ya reseñado. Todos ellos fueron calificados como nivel 0 en la escala INES.

El 9 de mayo se produjo una bajada de presión del presionador, durante la realización de una prueba de vigilancia, superando el límite establecido en las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento. La causa fue un mal funcionamiento del sistema de control de los calentadores del presionador, al estar quemado uno de los ventiladores del panel de control.

El 30 de junio se produjo un incumplimiento de la ronda horaria de vigilancia contra incendios, ya que el vigilante de los puntos de fuego de los edificios diesel A, diesel B, turbinas, agua de alimentación auxiliar y nuevamente turbinas, se sintió indispuesto.

Durante el trimestre el CSN ha realizado diez inspecciones.

Cofrentes

El periodo se inició con la central operando al 100% de la potencia térmica autorizada; a partir del día 24 de junio se fue reduciendo progresivamente la potencia de acuerdo con la estrategia de "extensión del ciclo". El periodo finalizó con la planta funcionando al 97,4%. Durante este periodo se han efectuado bajadas de carga programadas para la reestructuración de las barras de control, y otras actuaciones de mantenimiento e intervención en equipos.

Además, se notificaron dos sucesos, el primero de ellos debido a una parada manual involuntaria de una bomba de recirculación, lo que produjo la consiguiente reducción de la potencia del reactor; y el segundo como consecuencia de la actuación espuria de un monitor de radiación de la sala de control que originó el aislamiento de la misma y el arranque, según diseño, de un tren de filtrado de la sala de control.

Durante el trimestre el CSN ha realizado ocho inspecciones.

Santa María de Garoña

El trimestre comenzó con la central operando a la potencia térmica nominal. El 7 de abril se redujo la potencia hasta el 63 % para extraer una barra de control. Desde el día 21 de abril hasta el día 30 de dicho mes se desarrolló la fase de *coast down* (final de ciclo). El día 30 de abril comenzó la reducción de potencia para llevar a cabo una parada para recarga de combustible y mantenimiento.

Tras las actividades de recarga y mantenimiento, el 25 de mayo la central inició el arranque, el 26 se realizaron las pruebas de turbina y el 29 se acopló definitivamente a la red, alcanzando el 100% de potencia térmica el día 30 de mayo. Ese mismo día se redujo la potencia térmica hasta el 95% para realizar comprobaciones en el sistema de agua de alimentación. Desde el 2 de junio la central operó a la potencia térmica nominal, excepto una reducción de potencia realizada el día 7 de junio hasta el 98% para realizar el ajuste del caudal del núcleo tras la ejecución de una prueba de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento de los lazos del sistema de recirculación y una reducción de potencia realizada el día 8 de junio hasta el 85% por señal de alta temperatura en las bobinas del estator.

A lo largo de este periodo el titular ha notificado siete sucesos, todos ellos clasificados como nivel 0 en la Escala INES.

Durante el trimestre el CSN ha realizado nueve inspecciones.

Cajas de agua del condensador principal de la central nuclear de Santa María de Garoña.

Trillo

Al inicio del trimestre, la central estaba operando al 100% de su potencia nominal y el 25 de abril inició una bajada progresiva hasta el 4 de mayo, fecha en la que inició la parada para recarga de combustible, que se prolongó hasta el 6 de junio.

Las actividades de recarga y mantenimiento transcurrieron con normalidad y sin incidentes relevantes, y entre las actividades más importantes, destacan las siguientes:

—Revisión del cojinete radial inferior de una bomba del primario.

—Sustitución de las baterías de una redundancia.

—Inspección por corrientes inducidas del 100% de las barras de control.

—Revisión de los sellos de hidrógeno del alternador principal.

—Modificaciones de diseño del TH.

Una vez recuperada la potencia nominal se mantuvo así hasta el final del periodo.

El 30 de junio se notificó un suceso por el fallo de una tarjeta electrónica del sistema de protección que provocó el arranque de una unidad de ventilación en el edificio de alimentación de emergencia. El suceso no tuvo impacto en la seguridad de la planta y fue clasificado como nivel 0 en las Escala INES.

Durante el trimestre el CSN ha realizado cinco inspecciones.

Vandellós II

La central comenzó el trimestre en parada por recarga, hasta el día 4 de abril en que se dio por finalizada, alcanzando plena potencia el día 6. Así continuó durante el periodo salvo dos variaciones debidas a las siguientes incidencias notificadas y calificadas como 0 en la Escala INES:

El 6 de mayo se desacopló de la red y pasó a modo 3, disponible caliente, para realizar la sustitución de los controladores electrónicos del cuadro de control de la unidad de refrigeración del sistema de agua enfriada esencial, de acuerdo con las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento.

El 15 de mayo se efectuó la parada manual del reactor para realizar la reparación de una válvula de rociado del presionador.

Además, durante este periodo la central notificó dos sucesos.

El día 26 de mayo se realizó el simulacro general de emergencia anual, en el se simuló un suceso iniciador del Plan de Emergencia Interior (PEI) de categoría IV (emergencia general) para verificar la efectividad del PEI.

Durante el trimestre el CSN ha realizado cinco inspecciones.

Instalaciones del ciclo y en desmantelamiento

Ciemat

Durante el trimestre, han seguido ejecutándose las actividades del Programa Integrado de Mejora de las Instalaciones del Ciemat (PIMIC). Entre las tareas relativas al Pimic-Rehabilitación, ha continuado la caracterización radiológica y demás actividades de restauración de las parcelas del centro que aún quedan por rehabilitar. Durante este trimestre se ha concedido la clausura de una pequeña instalación de tercera categoría denominada "Laboratorios de química analítica".

En cuanto al proyecto Pimic-Desmantelamiento, se han reanudado las tareas pendientes, una vez resuelto el problema de la financiación. Entre esas actividades destaca la finalización de las actuaciones de descontaminación de la zona denominada «La Lenteja», mientras se continúa con la caracterización final del hueco excavado para proceder, más adelante, a su acondicionamiento y llenado. Además, han comenzado las tareas de acondicionamiento de la nave que albergaba el reactor, para su uso como almacén temporal de residuos provenientes de las excavaciones de terrenos contaminados.

Sala de control de la central nuclear Vandellós II.

Las instalaciones operativas del centro funcionan con normalidad.

Durante el trimestre el CSN ha realizado tres inspecciones.

Centro Medioambiental de Saelices el Chico (Salamanca)

La Planta Quercus se encuentra en suspensión temporal del desmantelamiento prorrogada de acuerdo con la resolución del CSN de 23 de junio de 2010. Las actividades se mantienen sin incidencias y durante el segundo trimestre de 2011 se ha terminado la revisión de la propuesta de Plan de Emergencia Interior de la instalación requiriéndose una nueva propuesta que incorpore las conclusiones de evaluación.

Prosiguen sin incidencias las actividades asociadas al *Programa de vigilancia y control de las aguas subterráneas y de la estabilidad de estructuras* de la Planta Elefante, *Programa de vigilancia y control de las aguas subterráneas (PVCAS)* de todo el emplazamiento, y el resto de programas de vigilancia que afectan a la Planta Quercus.

Se ha evaluado la documentación final de obra de la restauración minera y la propuesta de *Programa de vigilancia y mantenimiento del emplazamiento restaurado.* La evaluación concluye que es necesaria una nueva propuesta de programa de vigilancia con modificaciones. Dicha documentación deberá

Instalación para residuos de muy baja actividad de El Cabril.

contar con la apreciación favorable del CSN antes de iniciarse el denominado periodo de cumplimiento del emplazamiento restaurado.

Otras instalaciones mineras

En la antigua mina de uranio de Casillas de Flores (Salamanca), el titular finalizó las obras de restauración en el denominado Pozo Salamanca, de acuerdo con lo requerido por el CSN, presentando el informe que sigue siendo revisado por las áreas correspondientes. Siguen evaluándose los resultados de los *Programas de vigilancia y mantenimiento* de las minas restauradas de Casillas de Flores y Valdemascaño.

La empresa Berkeley Minera España S.A. ha continuado con sus trabajos en Salamanca, presentando los planes de labores y el avance de los informes sobre el cumplimiento de los criterios radiológicos aplicables, correspondientes a los permisos de los yacimientos de Horcajada, Berzosa, Mimbre, Oñoro y Ciervo, todos ellos en Salamanca. Se ha informado favorablemente sobre un permiso de investigación en la provincia de Salamanca (Proyecto Alameda y su demasía).

En el mes de abril, la Consejería de Economía y Empleo de la Dirección General de Industria de la Junta de Castilla y León solicitó informe sobre la propuesta de modificación de la instalación radiactiva de la empresa Berkeley Minera España, situada en Salamanca, IRA-3047. Dicha propuesta está siendo evaluada.

Se ha recibido del Servicio Territorial de Industria, Comercio y Turismo de la Delegación Territorial de Salamanca de la Junta de Castilla y León, el otorgamiento de prórrogas ordinarias a la vigencia de los permisos de investigación denominados Alisos, Abedules, Castaños 2 y Barquillo, todos ellos situados en Salamanca. En dichas prórrogas se insta al cumplimiento de los requisitos de protección radiológica que tienen como fin asegurar una adecuada protección de los trabajadores, el público y el medio ambiente frente a la exposición a las radiaciones ionizantes. Dichos requisitos están referidos a las actividades iniciales, los niveles de desclasificación de materiales, el estudio del impacto radiológico producido, la protección radiológica de los trabajadores, la gestión de los materiales residuales, los ensayos de beneficio y estudios de viabilidad, la restauración de áreas afectadas, y los informes periódicos a remitir al CSN.

Fábrica de Uranio de Andújar

Durante este periodo el emplazamiento ha seguido bajo control, sin observarse incidencias. La instalación se encuentra en el denominado período de cumplimiento, cuyo objeto es verificar que determinados parámetros de diseño de la estabilización realizada alcanzan los valores preestablecidos y garantizan la idoneidad de la misma. Enresa debe presentar una revisión del Plan de Vigilancia y Mantenimiento del emplazamiento, al menos, cada cinco años, y en fechas próximas remitirá la nueva revisión del documento, en el que se incluirán los resultados y comentarios realizados en las cuatro inspecciones que se llevaron a cabo en el trimestre anterior.

Centro de almacenamiento de residuos radiactivos de El Cabril

Durante el trimestre la instalación ha seguido bajo control, sin observarse incidencias significativas. Se han realizado las operaciones habituales para la gestión definitiva de residuos radiactivos de baja, media y muy baja actividad.

Se han notificado tres sucesos por la superación de los límites fijados en las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento de la cantidad de agua recogida por la red de control de infiltraciones de la celda 29 de almacenamiento de residuos de muy baja actividad, que se han debido a las intensas lluvias caidas en el emplazamiento. Se están concluyendo los trabajos de la modificación de diseño de la celda, para

evitar que en el futuro se vuelvan a superar los límites establecidos.

Se ha informado favorablemente al Ministerio de Industria, Turismo y Comercio la revisión 5 del Reglamento de Funcionamiento, que ha sido aprobada por Resolución de 22 de junio. Igualmente, por Resolución de 7 de abril, se ha aprobado la revisión 3 del Plan de Protección Física. También se ha apreciado favorablemente la revisión 6 del Manual de Protección Radiológica. Tras una reunión de trabajo se ha solicitado a Enresa información adicional sobre la revisión 8 del Plan de Emergencia Interior. El titular está ultimando el nuevo texto del Plan de Gestión de Residuos que deberá remitir próximamente.

Durante el trimestre el CSN ha realizado cuatro inspecciones.

Vandellós I

La instalación siguió bajo control durante este periodo, sin observarse incidencias significativas.

Durante este trimestre el CSN ha realizado una inspección.

José Cabrera

Durante el segundo trimestre de 2011 ha continuado la ejecución de las actividades preparatorias dirigidas a adaptar los sistemas e instalaciones auxiliares de la instalación a las necesidades del desmantelamiento, así como las actividades de operación y vigilancia de la planta que se requieren en la documentación oficial aplicable al desmantelamiento de la instalación.

Entre ellas destacan las relacionadas con el acondicionamiento del nuevo edificio eléctrico; las de modificación de los sistemas eléctricos; las de desmontaje de elementos convencionales en diversos edificios; las de adecuación de los sistemas de ventilación de los edificios de contención y auxiliar; las de mejora de los sistemas de protección contra incendios de diversos edificios; las de retirada de elementos en la cavidad del reactor; así como las preparatorias que se están acometiendo para el acondicionamiento de los almacenes de residuos radiactivos para su uso durante la fase de desmantelamiento. Por otro lado, se ha continuado la ejecución del Plan de Descargos Definitivos de los sistemas que no serán necesarios para el desmantelamiento de la instalación.

Durante el trimestre han continuado las evaluaciones en curso sobre la propuesta de modificación de diseño de adecuación de los almacenes temporales de residuos para su uso durante la fase de desmantelamiento y de la propuesta de modificación de diseño del edificio de turbina para su uso como edificio auxiliar del desmantelamiento. De acuerdo con los límites y condiciones de la autorización, estas modificaciones de diseño deberán contar con la apreciación favorable del CSN antes de su puesta en servicio.

Asimismo, en el periodo considerado ha proseguido la evaluación de la propuesta de modificación de diseño del Almacén Temporal Individualizado (ATI) de combustible gastado para su uso como almacén de residuos. La aprobación de esta modificación de diseño, de acuerdo con el condicionado de la autorización, requiere un informe previo del CSN.

Durante el trimestre el CSN ha realizado siete inspecciones.

Fábrica de combustible de Juzbado

La instalación ha funcionado con normalidad durante el trimestre, habiendo notificado un suceso, debido a un fallo de aplicación de procedimiento, sin riesgo alguno para los trabajadores, el público ni el medio ambiente. Se trata del hallazgo de una incoherencia entre dos apartados de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento, sobre el requisito de vigilancia del sistema de protección contra incendios, que fue subsanado de inmediato.

Como consecuencia del suceso ocurrido el 14 de mayo de 2009, el titular continúa la revisión sistemática y en profundidad de todos los sistemas de seguridad de la instalación regulados por las Especificaciones de Funcionamiento, concretada en un

Actividades de desmantelamiento de la central nuclear José Cabrera.

programa sistemático de revisión de los sistemas de seguridad. Se ha ampliado el alcance de este programa, incluyendo la documentación sobre recogida en otros documentos oficiales de explotación, y su extensión en el tiempo, de forma que se prevé su finalización a mediados de 2012.

Con fecha 12 de mayo se recibió el último de los informes correspondientes a la quinta y última fase del Análisis Integrado de Seguridad de Juzbado.

El 17 de mayo se remitió al titular de la instalación la Instrucción Técnica del CSN por la que se requieren acciones correctivas de las desviaciones encontradas en la inspección sobre el sistema de protección contra incendios (SPCI) en relación con las inoperabilidades de los componentes del este sistema y con las rondas de vigilancia contra incendios. Inspección realizada el día 8 de febrero de 2011. El 20 de mayo, se recibió un escrito del titular especificando las medidas puestas en marcha para subsanar las desviaciones citadas.

Durante este periodo el CSN ha realizado cuatro inspecciones.

Instalaciones radiactivas

Resoluciones adoptadas sobre instalaciones radiactivas con fines científicos, médicos, agrícolas, comerciales o industriales y actividades conexas
Entre el 1 de marzo y el 31 de mayo de 2011, el CSN ha realizado las siguientes actuaciones relativas a instalaciones radiactivas con fines científicos, médicos, agrícolas, comerciales o industriales y actividades conexas: 14 informes para autorizaciones de funcionamiento de nuevas instalaciones, 55 informes para autorizaciones de modificación de instalaciones previamente autorizadas y 13 informes para declaración de clausura; un informe para autorización de servicios de protección radiológica, tres informes para autorización de unidades técnicas de protección radiológica, un informe para autorización de un servicio de dosimetría personal, un informe para la autorización de retirada de material radiactivo no autorizado; cuatro informes para autorizaciones de empresas de venta y asistencia técnica de equipos de rayos x para radiodiagnóstico médico, cuatro informes para autorización de otras actividades reguladas, ocho informes relativos a la aprobación de tipo de aparatos radiactivos y 28 informes relativos a la homologación de cursos para la obtención de licencias o acreditaciones.

Acciones coercitivas adoptadas sobre instalaciones radiactivas con fines científicos, médicos, agrícolas, comerciales o industriales y actividades conexas
En este trimestre, el CSN ha remitido 19 apercibimientos a titulares de instalaciones radiactivas y actividades conexas; de ellos, cuatro se han dirigido a instalaciones industriales, tres a instalaciones de investigación o docencia, dos a instalaciones médicas, siete a instalaciones de rayos X de uso médico, uno a una empresa de venta y asistencia técnica de equipos de rayos X para diagnóstico médico, uno a una entidad autorizada para asistencia técnica de equipos de inspección de bultos y uno a una unidad técnica de protección radiológica.

Seguridad física

Reglamentación y normativa

Durante este periodo, el estado de tramitación del nuevo Real Decreto de Protección Física de Instalaciones y Materiales Nucleares y Fuentes Radiactivas ha sufrido cierto retraso con respecto al plazo inicialmente previsto. En la actualidad está pendiente del dictamen del Consejo de Estado.

Licenciamiento y control

La seguridad física como área estratégica del Sistema Integrado de Supervisión de las Centrales Nucleares (SISC) entró en fase piloto el 1 de enero de 2011 y durante el segundo trimestre de 2011 se ha realizado la primera inspección correspondiente a las centrales nucleares de Ascó y Almaraz, y la segunda a la de Santa María de Garoña.

El SISC establece y define cuatro indicadores relativos al funcionamiento del sistema de protección física de cada central, y los titulares han enviado los datos necesarios para el cálculo de estos indicadores correspondientes al segundo trimestre de 2011.

Fuera del SISC, se ha realizado una inspección para verificar la operatividad del plan de seguridad física de la central nuclear de José Cabrera.

Por otra parte, como consecuencia de la intrusión de activistas de Greenpeace en la central nuclear de Cofrentes, el CSN y el Ministerio del Interior han elaborado un plan de trabajo que identifica prioridades y establece una serie de acciones tanto legislativas y reglamentarias como operativas que han sido consideradas necesarias para la eliminación de las vulnerabilidades detectadas en el actual modelo de seguridad física de las centrales nucleares españolas.

Para conocer y analizar las mejoras propuestas al modelo de seguridad física a corto, medio y largo plazo que implican la realización de acciones al CSN, a la Secretaría de Estado de Seguridad del MIR y al sector nuclear, el día 30 de junio el CSN y el MIR organizaron una jornada sobre esta materia con la asistencia de miembros cualificados de los Cuerpos y Fuerzas de Seguridad, técnicos y directivos del organismo regulador, responsables de las centrales nucleares y directivos de las empresas de servicios de seguridad de las centrales.

Relaciones institucionales

Durante el segundo trimestre, el CSN ha mantenido diferentes relaciones institucionales en materia de protección física de instalaciones y materiales nucleares, prevención, detección y respuesta al tráfico ilícito de materiales nucleares y otro material radiactivo y en lo relativo a la lucha, tanto nacional como internacional, contra el terrorismo nuclear, siendo destacables las siguientes actividades:

Durante el segundo trimestre el CSN ha mantenido diferentes relaciones institucionales en materia de protección física de instalaciones y materiales nucleares, prevención, detección y respuesta al tráfico ilícito de materiales nucleares y otro material radiactivo y en lo relativo a la lucha tanto nacional como internacional contra el terrorismo nuclear, siendo destacables las siguientes actividades:

Se ha constituido un grupo de trabajo específico (SES, CSN, CNI y Mossos d'Escuadra) para la definición, mantenimiento y actualización de la Amenaza Base de Diseño, que está realizando sus trabajos según lo programado.

El CSN ha colaborado con el Centro Nacional de Protección de Infraestructuras Críticas en la preparación de la Ley 8/2011 y del Real Decreto por el que se aprueba el Reglamento de Protección de las Infraestructuras Críticas que la desarrolla.

Central nuclear de Cofrentes.

Se continúa avanzando en el protocolo técnico de colaboración entre el CSN y la Dirección General de la Policía y Guardia Civil, especialidad Tedax-NRBQ de la Comisaría General de Información del Cuerpo Nacional de Policía.

Relaciones internacionales

El CSN continua con su misión de colaborar en el refuerzo del régimen internacional de seguridad física de instalaciones y materiales nucleares y en la lucha contra el terrorismo nuclear participando activamente en varias iniciativas internacionales y colaborando con el OIEA, cuando es requerido para ello.

Dentro de este objetivo hay que destacar la participación de expertos en seguridad física del CSN y en el contexto de la Iniciativa Global de Lucha contra el Terrorismo Nuclear (IGTN), en el seminario "Nuclear Forensics" celebrado en Karlsruhe (Alemania).

Por otra parte, como aspecto fundamental del proyecto de implantación del SISC en el pilar estratégico de seguridad física, se ha celebrado la segunda reunión de intercambio de información clasificada entre expertos de la NRC y del CSN en las oficinas centrales en Washington DF y en las oficinas de la Región I de la NRC.

Notificación de sucesos

Incidentes en instalaciones nucleares

Durante el segundo trimestre de 2011 se recibieron en la Sala de Emergencias del CSN (Salem) nueve informes de suceso notificable en una hora y 27 informes de suceso notificable en 24 horas; de éstos, ocho

correspondieron a la ampliación de la información enviada en los correspondientes sucesos de una hora.

Incidentes radiológicos

El día 5 de abril se recibió una notificación de la IRA-2914 situada en Idiazábal (Guipúzcoa) sobre el aplastamiento de una de las mangueras de salida de un gammágrafo por caída de una pieza sobre ella en el transcurso de la realización de una radiografía, impidiendo la retracción de la fuente radiactiva a su posición blindada. Se procedió al rescate de la fuente (Ir-192) y su introducción en un contenedor para su traslado a las instalaciones de Servicios de Control e Inspección(SCI), S.A. en Madrid. Los dosímetros de lectura directa de los dos técnicos que realizaron la intervención de emergencia marcaron dosis inferiores al límite para trabajadores expuestos.

El día 5 de abril el jefe de servicio de protección radiológica del Hospital Carlos Haya de Málaga comunicó que durante el traslado de los restos de un tratamiento de I-131 (MIBG), se produjo accidentalmente un derrame a la salida del ascensor de servicio, en una zona de libre acceso y de bajo tránsito. Se acordonó la zona y se retiraron los restos vertidos, descontaminando la zona con los medios previstos para ello. El nivel de radiación medido inicialmente en la zona afectada, a 20 cm, era de 16 microSievert/h, y después del proceso de descontaminación descendió hasta 7 microSievert /h.

El día 11 de abril un particular comunicó que tenía unas cajas que creía que contenían restos de las cenizas del incidente de Acerinox. Personal técnico de apoyo al CSN se desplazó al domicilio del comunicante en Tarifa y comprobó que una de las cajas, contenía una fuente encapsulada en cuyo espectro se identificó Am-241 y un isótopo desconocido, mientras que en otra caja que contenía cenizas se identificó Cs-137. Se facilitó al particular el contacto con Enresa para la retirada del material.

Hospital Carlos Haya, de Málaga

El día 12 de abril el Instituto Tecnológico PET de Madrid notificó un incidente consistente en un fallo del enclavamiento de seguridad en el búnker del ciclotrón, lo que permitió realizar la irradiación con la apertura parcial de la puerta.

El día 13 de abril la empresa AMPO, Sociedad Cooperativa informó de un incidente en la instalación IRA-2914 en Idiazábal (Guipúzcoa). Al finalizar la realización de un trabajo de gammagrafiado en el interior del búnker número 1, el telemando eléctrico se paró, sin conseguir alojar la fuente radiactiva de Co-60, de una actividad de 3.126,5 GBq (84,5 Ci). La supervisora activó el plan de emergencia de la empresa y se determinó que la irradiación recibida por el personal que atendió la emergencia no resultó significativa.

El 4 de mayo el Hospital Clínico Universitario Lozano Blesa (Zaragoza) notificó un suceso de intrusión ocurrido durante la noche del 3 al 4 de mayo en las dependencias del servicio de oncología del hospital. Un intruso destrozó distintas dependencias del hospital, forzó la puerta de acceso al servicio de oncología y produjo la rotura del interruptor de acceso al acelerador Primus. El mecanismo de apertura quedó inutilizado y roto el cristal blindado de la puerta de acceso a la unidad de cobaltoterapia, sin llegar en ningún momento a poder abrir la puerta.

El día 15 de mayo se recibió una comunicación de SGS Tecnos informando de que en el puerto de Barcelona se había detectado, en unos contenedores procedentes de Japón, contaminación beta-gamma (0,5 Bq/cm^2) por debajo de los límites aceptados para el transporte de mercancías peligrosas (3,7 Bq/ cm^2). Se reenvió la información a la Agencia Estatal de Administración Tributaria (AEAT).

El día 23 de mayo la AEAT comunicó a la Salem que había sido rechazado el desembarco en el puerto de Barcelona de un vehículo procedente de Japón que presentaba contaminación beta-gamma de 3,3 Bq/ cm^2 con un pico de unos 5,5 Bq/cm^2.

El 5 de junio se recibió una comunicación de la empresa Aplicaciones Tecnológicas, S.A., IRA-2822, informando de que habían detectado el robo de

una caja fuerte que contenía dos fuentes radiactivas de Cf-252 y Cs-137 y de una fuente exenta de Co-57.

El 7 de junio la empresa Siemens S.A. notificó la sustracción de 35 detectores iónicos de Am-241 de un vehículo en Jerez de la Frontera (Cádiz).

El día 17 de junio el Jefe de Protección Radiológica de la IRA-2193 comunicó un incidente en la instalación CNA (Centro Nacional de Aceleradores) de Sevilla; mientras se procedía a la segunda fase de una irradiación con protones en el ciclotrón para la producción de flúor-18 en forma gaseosa, se produjo la rotura de la ventana que aísla el blanco de irradiación del exterior. Dada la volatilidad del flúor-gas, el contenido gaseoso del blanco fugó al interior del búnker del ciclotrón, activándose una alarma de contaminación ambiental dentro del búnker. El volumen de gas liberado fue de aproximadamente 30 mililitros. En el momento del suceso se encontraban en la instalación dos supervisores y dos operadores de la instalación. Tras eliminar la ropa de trabajo y proceder al lavado de manos y extremidades superiores, las lecturas estuvieron por debajo del límite de contaminación para F-18.

El día 29 de junio la empresa Sergeyco comunicó el robo de un equipo de medida de densidad y humedad en suelos marca Troxler con una fuente de Americio-241/berilio de 40 mCi y con otra de Cs-137 de 8 mCi, que se encontraba en un furgón en Móstoles.

Gestión de emergencias

Activación ORE

Durante este periodo no se ha activado la Organización de Respuesta ante Emergencias del CSN. No obstante, desde la Salem del CSN se ha continuado realizando un seguimiento de la situación de las plantas nucleares de Fukushima Dai-ichi, gestionando y distribuyendo la información recibida al respecto.

Planes de emergencia

El CSN está colaborando con la Junta de Extremadura en la preparación del Plan Especial de Emergencia Radiológica para cumplir con lo establecido en la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo Radiológico, recientemente aprobada.

Preparación ante emergencias

Durante este periodo el CSN ha participado en los simulacros anuales preceptivos de los Planes de Emergencia Interior (PEI) de las centrales nucleares de Vandellós II y Trillo, y del Ciemat. Los simulacros se realizaron con un escenario secuencial de supuestos previamente desconocido, tanto para los actuantes de las instalaciones, como del propio CSN, existiendo en ambas partes controladores para verificar que los simulacros se desarrollaban según lo previsto.

Los simulacros fueron presenciados *in situ* por inspectores del CSN, y la Organización de Respuesta ante Emergencias del CSN fue activada con el personal necesario para afrontar dichas situaciones simuladas. Asimismo en el caso de las centrales nucleares se activaron los Centros de Apoyo Técnico, y los Centros de Coordinación Operativa (Cecop) de los Planes de Emergencia Nuclear Exterior Penta y Pengua, respectivamente.

Con relación a la formación en materia de emergencias se ha impartido el curso de formación de actuantes en emergencias nucleares con la colaboración logística de la Escuela Nacional de Protección Civil. De acuerdo con el programa de formación acordado con la Unidad NRBQ de la Guardia Civil, el CSN ha impartido cursos de formación para miembros de los destacamentos de Logroño, Barcelona y Algeciras. Además, ha colaborado en la impartición de un curso para los especialistas NRBQ en la Escuela Militar de Defensa de la Academia de Ingenieros del Ejército.

Durante el segundo trimestre de 2011, el CSN ha participado en el ejercicio Convex-2b organizado por el OIEA en el que, entre otros objetivos, se probó la nueva web USIE que sustituyó a la web ENAC del OIEA a finales de junio de 2011. En el ejercicio se plantearon dos escenarios diferentes:

—El escenario A se basó en un accidente de pérdida de refrigerante en una central nuclear que llevó a la declaración de "emergencia general" y a la implantación de medidas de protección de amplio alcance. Desde la Salem se completaron y enviaron al IEC (Incident and Emergency Center del OIEA) los diferentes formatos Emercon: notificación inicial, declaración de "emergencia general", formato para la transmisión de las medidas radiológicas y las acciones de protección.

—El escenario B se refirió a la activación de las alarmas por alta radiación a la llegada de un camión

que transportaba chatarra desde un país vecino en un paso fronterizo. Se adaptó el escenario al caso español considerando que el camión procedía de Francia y era interceptado en Irún; se contactó con la Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) para su información, remitiendo los formatos enviados al OIEA.

El Consejo ha dado su conformidad al Informe Ejecutivo que contienen las propuestas del grupo de trabajo de renovación de las redes de estaciones automáticas de vigilancia radiológica. El próximo paso será la elaboración y firma del convenio de colaboración para la adquisición, instalación y explotación de tres estaciones piloto, entre el CSN y las comunidades autónomas con redes propias (Cataluña, Extremadura, País Vasco y Valencia).

Relaciones institucionales

Durante este periodo se ha firmado un acuerdo de colaboración con Unesa para la cesión de la administración y gestión de la red N2 del sistema de comunicaciones de emergencia entre las centrales nucleares y el CSN.

Relaciones internacionales

Durante el segundo trimestre de 2011, el CSN ha asistido a la reunión del proyecto DETECT de la Unión Europea, cuyo fin es desarrollar una herramienta que permita optimizar el diseño de redes automáticas de vigilancia radiológica para facilitar la toma de decisiones en una situación de emergencia. También se ha participado en las actividades relacionadas con el *Working Party on Nuclear Emergency Matters*. Por último, dentro del convenio con la ASN, se ha participado en el grupo CODIRPA sobre la gestión de la fase postemergencia, que está siendo coordinado por el organismo francés.

Acuerdos del Pleno

■ **Instrucción Técnica Complementaria de reevaluación de la seguridad de la central nuclear José Cabrera**
En su reunión de 15 de junio, el Pleno del CSN aprobó una Instrucción Técnica Complementaria (ITC) para la central nuclear de José Cabrera sobre reevaluación de la seguridad derivada del accidente de Fukushima. En dicha ITC se requiere a Enresa la realización de los análisis considerados en el documento de «pruebas de resistencia» elaborado por la Asociación Europea de Reguladores Nucleares Occidentales, WENRA, y el Grupo de Reguladores Europeos en Seguridad Nuclear, ENSREG, que incluye en su alcance las centrales nucleares en situación de parada definitiva que dispongan de almacenamientos de combustible gastado en sus emplazamientos. La instrucción también requiere la presentación de las propuestas de mejora que se deriven de los análisis y el correspondiente calendario de implantación.

■ **Acuerdo de colaboración con la Universidad de Málaga para la realización de una prospección de los procedimientos de radiodiagnóstico**
El Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear, en su reunión de 31 de mayo, aprobó por unanimidad el inicio de trámites para el establecimiento de un acuerdo especifico de colaboración con la Universidad de Málaga, para la realización de una prospección sobre los procedimientos de radiodiagnóstico médico utilizados en los centros sanitarios españoles, su frecuencia y las dosis recibidas por los pacientes y por la población general.

■ **Propuesta de acuerdo especifico de colaboración con el Ministerio de Sanidad**
En su reunión de 31 de mayo de 2011, el Pleno del Consejo aprobó por unanimidad la propuesta de un acuerdo específico de colaboración con el Ministerio de Sanidad, Política Social e Igualdad, para la realización de un estudio de los efectos de la exposición médica diagnóstica a radiaciones ionizantes en niños y adolescentes.

■ **Autorización de ejecución y montaje de la modificación del ATI de Ascó**
El Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear, en su reunión de 25 de mayo, acordó informar favorablemente la solicitud de autorización de ejecución y montaje del Almacén Temporal Individualizado (ATI) de combustible gastado, de la central nuclear de Ascó, presentada por el titular con fecha 25 de febrero de 2010. Posteriormente, como consecuencia del proceso de evaluación, el titular de la central remitió al CSN una modificación del Capítulo 7, sobre el Programa de Garantía de Calidad. También

remitió, como consecuencia del proceso de evaluación, una serie de compromisos sobre aspectos de detalle del diseño, la normativa a aplicar y el contenido del Estudio de Seguridad del ATI.

Instrucción Técnica Complementaria sobre vigilancia radiológica interior de las centrales en operación

El Pleno del Consejo, reunido el 19 de mayo, aprobó por unanimidad la Instrucción Técnica Complementaria (ITC) por la que se requiere la realización de un programa de vigilancia radiológica en el interior de los edificios de todas las centrales nucleares en operación, excepto la de Ascó, que ya lo levó a cabo, que incluya actuaciones específicas para la detección y eliminación de eventuales contaminaciones en áreas interiores de edificios o estructuras no sometidas a vigilancia radiológica.

Para ello, los titulares deberán realizar, en primer lugar, un análisis de las prácticas realizadas que hayan podido dar lugar a la presencia de contaminación, tales como vertidos, con carácter periódico o esporádico, en los sistemas de recogida, evacuación o gestión de líquidos disponibles o cualquier otra operación realizada en el interior de los edificios. El informe con los resultados de todos los análisis radiológicos deberá ser remitido en el plazo de seis meses tras la aprobación de la ITC. Adicionalmente, el titular revisará el diseño de la instalación para valorar posibles comunicaciones entre áreas convencionales y áreas radiológicas dentro del emplazamiento, cuyo informe deberá remitir al CSN en el plazo de un año.

Propuesta de apercibimiento al titular de la central de Trillo

El Pleno del Consejo aprobó por unanimidad, el 27 de abril, apercibir al titular de la central nuclear de Trillo por infracción leve, debido al incumplimiento de la Instrucción del Consejo IS-06, en lo relativo a los programas de formación en materia de protección radiológica regulados en el Real Decreto 413/97. Dicha instrucción establece que la duración del curso de protección radiológica específico establecido en el anexo II debe ser como mínimo de cuatro horas. Una inspección del CSN realizada los días 27 y 28 de abril de 2010 en el emplazamiento de la central constató que el curso sobre formación inicial específica en protección radiológica no alcanzaba dicho mínimo.

La central deberá realizar un análisis de la causa raíz de este incumplimiento y, en el plazo de tres meses desde la recepción de este apercibimiento, remitir un informe al CSN de las conclusiones, incluyendo las acciones correctivas adoptadas.

Además, el Consejo acordó que, con carácter general, los expedientes sancionadores y apercibimientos sean presentados al Pleno con un mes de antelación a la fecha de prescripción de la infracción, incluyéndose esta condición en el correspondiente procedimiento.

Acuerdo de colaboración con AMAC

EL Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear, en su reunión de 11 de abril, aprobó por unanimidad el inicio de trámites para establecer un acuerdo específico de colaboración con la Asociación de Municipios en Áreas de Centrales Nucleares (AMAC), para reforzar las políticas de información y transparencia en las zonas nucleares de España. Se pretende impulsar la actividad de los Comités de Información, mediante la mejora de los instrumentos de comunicación ya existentes, y promover un mayor conocimiento por parte de la población de dichos entornos en materia de seguridad nuclear y protección radiológica.

Revisiones de las ETF de la central nuclear Ascó I

En su reunión del 11 de abril, el Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear acordó informar favorablemente las revisiones 100 y 101 de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento de la central nuclear Ascó I.

Resultados de las pruebas de aumento de potencia en Almaraz II

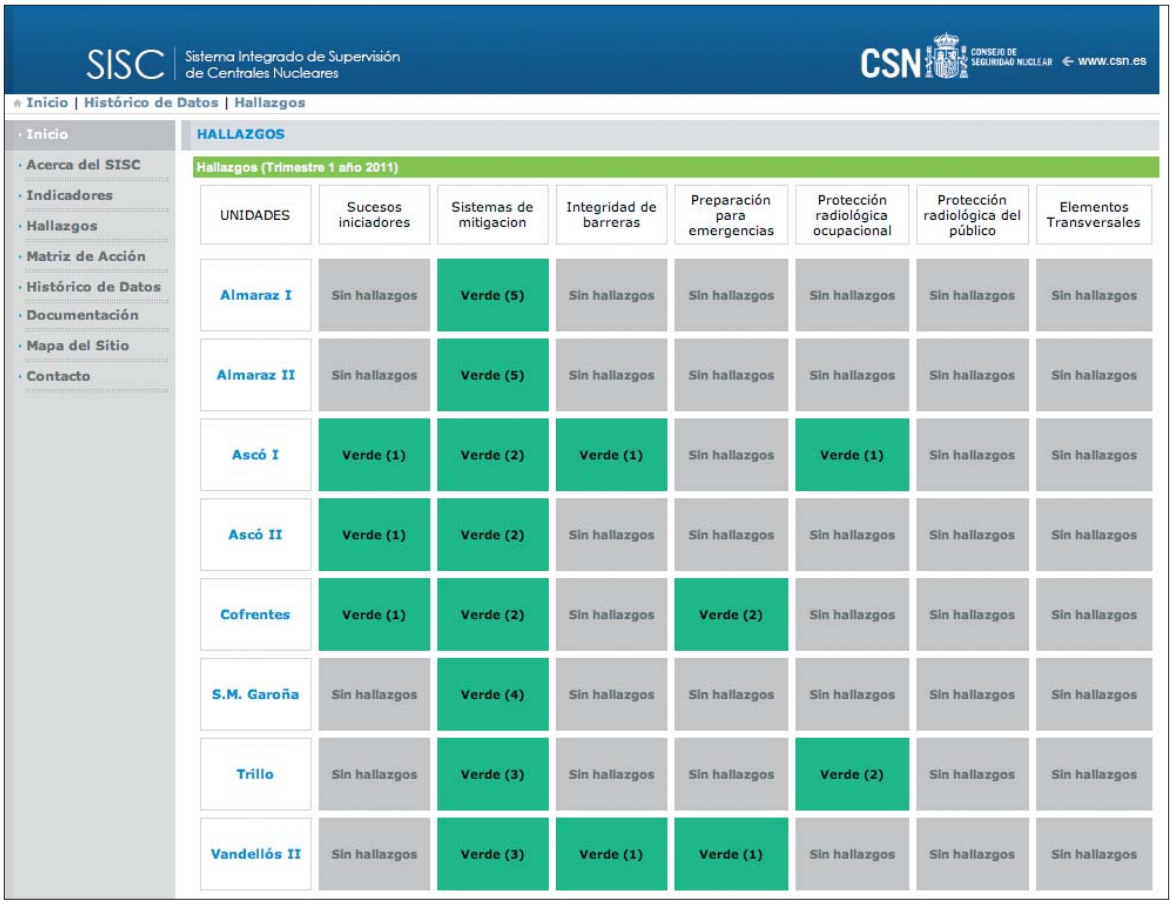
El Consejo de Seguridad Nuclear, en su reunión de 11 de abril de 2011, acordó apreciar favorablemente el cumplimiento de las condiciones para operar de forma estable a la nueva potencia térmica de 2.947 MWt la unidad II de la central nuclear de Almaraz. La resolución de la Dirección General de Política Energética y Minas de 27 de diciembre de 2010, por la que se autorizó la modificación de diseño, contemplaba en su condicionado que el titular debía proceder a la ejecución de estas pruebas, cuyos resultados y análisis remitió el titular el pasado 28 de febrero.

Datos del primer trimestre de 2011*

Durante el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de marzo de 2011, el Sistema Integrado de Supervisión de Centrales (SISC) registró 37 hallazgos de inspección, que el CSN categorizó en todos los casos con el color *verde* (baja importancia para la seguridad). En cuanto a los indicadores de funcionamiento, fueron todos de color *verde* excepto dos de color *blanco* (de importancia entre baja y moderada), uno en la central Ascó I y otro en la de Cofrentes. El de Ascó se debe a varios fallos de los generadores diesel de emergencia ocurridos en los últimos tres años, ya contabilizados en trimestres anteriores, por lo que permanece en esta situación desde el cuarto trimestre de 2009. El de Cofrentes es debido al índice de respuesta ante emergencias y simulacros, y procede del segundo trimestre de 2010.

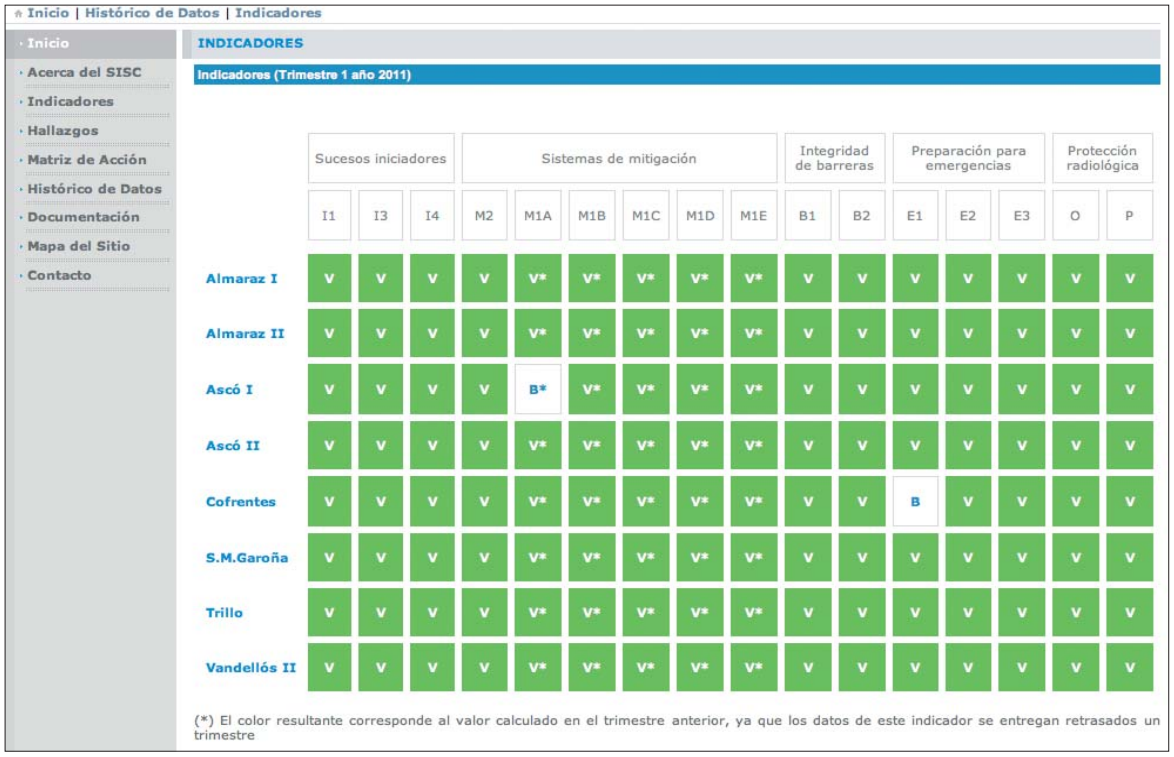
El conjunto de hallazgos de inspección e indicadores de funcionamiento se integran en la matriz de acción, que tiene en cuenta los resultados de los anteriores trimestres y establece las acciones a realizar por parte del titular y del CSN. La matriz de acción de seis de los ocho reactores nucleares que se encuentran operativos (Almaraz I y II, Ascó II, Santa María de Garoña, Vandellós II y Trillo) se situaron en la columna de "respuesta del titular", por lo que el CSN se limita a mantener el programa base de inspección y supervisión, sin necesidad de realizar actuaciones especiales añadidas.

Ascó I y Cofrentes se encuentran en situación de "respuesta reguladora" por los indicadores *blancos* señalados, lo que conlleva la realización por parte del titular de un análisis para determinar la causa de los fallos identificados y establecer las acciones correctivas correspondientes. En estos casos, el CSN realiza una inspección suplementaria de grado I en la que se analizan tanto las deficiencias detectadas como las acciones emprendidas, que ya se ha llevado a cabo en Ascó.



UNIDADES	Sucesos iniciadores	Sistemas de mitigacion	Integridad de barreras	Preparación para emergencias	Protección radiológica ocupacional	Protección radiológica del público	Elementos Transversales
Almaraz I	Sin hallazgos	Verde (5)	Sin hallazgos	Sin hallazgos	Sin hallazgos	Sin hallazgos	Sin hallazgos
Almaraz II	Sin hallazgos	Verde (5)	Sin hallazgos	Sin hallazgos	Sin hallazgos	Sin hallazgos	Sin hallazgos
Ascó I	Verde (1)	Verde (2)	Verde (1)	Sin hallazgos	Verde (1)	Sin hallazgos	Sin hallazgos
Ascó II	Verde (1)	Verde (2)	Sin hallazgos	Sin hallazgos	Sin hallazgos	Sin hallazgos	Sin hallazgos
Cofrentes	Verde (1)	Verde (2)	Sin hallazgos	Verde (2)	Sin hallazgos	Sin hallazgos	Sin hallazgos
S.M. Garoña	Sin hallazgos	Verde (4)	Sin hallazgos	Sin hallazgos	Sin hallazgos	Sin hallazgos	Sin hallazgos
Trillo	Sin hallazgos	Verde (3)	Sin hallazgos	Sin hallazgos	Verde (2)	Sin hallazgos	Sin hallazgos
Vandellós II	Sin hallazgos	Verde (3)	Verde (1)	Verde (1)	Sin hallazgos	Sin hallazgos	Sin hallazgos

(*) Últimos datos disponibles al cierre de la revista. Pueden consultarse datos más recientes en www.csn.es



Inicio | Histórico de Datos | Indicadores

- Inicio
- Acerca del SISC
- Indicadores
- Hallazgos
- Matriz de Acción
- Histórico de Datos
- Documentación
- Mapa del Sitio
- Contacto

INDICADORES

Indicadores (Trimestre 1 año 2011)

	Sucesos iniciadores			Sistemas de mitigación						Integridad de barreras		Preparación para emergencias			Protección radiológica	
	I1	I3	I4	M2	M1A	M1B	M1C	M1D	M1E	B1	B2	E1	E2	E3	O	P
Almaraz I	V	V	V	V	V*	V*	V*	V*	V*	V	V	V	V	V	V	V
Almaraz II	V	V	V	V	V*	V*	V*	V*	V*	V	V	V	V	V	V	V
Ascó I	V	V	V	V	B*	V*	V*	V*	V*	V	V	V	V	V	V	V
Ascó II	V	V	V	V	V*	V*	V*	V*	V*	V	V	V	V	V	V	V
Cofrentes	V	V	V	V	V*	V*	V*	V*	V*	V	V	B	V	V	V	V
S.M.Garoña	V	V	V	V	V*	V*	V*	V*	V*	V	V	V	V	V	V	V
Trillo	V	V	V	V	V*	V*	V*	V*	V*	V	V	V	V	V	V	V
Vandellós II	V	V	V	V	V*	V*	V*	V*	V*	V	V	V	V	V	V	V

(*) El color resultante corresponde al valor calculado en el trimestre anterior, ya que los datos de este indicador se entregan retrasados un trimestre

Inicio | Histórico de Datos | Matriz de Acción

- Inicio
- Acerca del SISC
- Indicadores
- Hallazgos
- Matriz de Acción
- Histórico de Datos
- Documentación
- Mapa del Sitio
- Contacto

MATRIZ DE ACCIÓN

Matriz de acción (Trimestre 1 año 2011)

Respuesta Titular	Respuesta Reguladora	Pilar Degradado	Degradaciones Múltiples	Funcionamiento Inaceptable
Almaraz I	Ascó I[1]			
Almaraz II	Cofrentes[2]			
Ascó II				
S.M. Garoña				
Trillo				
Vandellos II				

[1] Ascó I se encuentra en la columna de respuesta reguladora porque desde el cuarto trimestre de 2009 mantiene en Blanco el indicador de funcionamiento "Índice de Funcionamiento de Sistemas de Mitigación" (IFSM) correspondiente a los generadores diesel de emergencia, perteneciente al Pilar de Seguridad de Sistemas de Mitigación

[2] Cofrentes se encuentra en la columna de respuesta reguladora porque desde el segundo trimestre de 2010 está en Blanco el indicador de funcionamiento de "Respuesta ante situaciones de emergencia y simulacros (E1)", perteneciente al Pilar de seguridad de Preparación para emergencia, como resultado de haber aplicado los nuevos criterios más precisos establecidos por el CSN para los indicadores de este Pilar de seguridad

Columna de respuesta del Titular

Una central está en esta columna cuando todos los resultados de la evaluación están en verde. El CSN mantendrá el programa base de inspección y las deficiencias que se identifiquen se tratarán por el Titular dentro de su programa de acciones correctoras.

Columna de respuesta reguladora

Una central está en esta columna cuando tiene uno o dos resultados blancos, sea indicador de funcionamiento o hallazgo de inspección, en diferentes pilares de la seguridad y no más de dos blancos en un área estratégica.

Columna correspondiente a un pilar degradado

Se considera que un pilar está degradado cuando existen en el mismo dos o más resultados blancos o uno amarillo. Una central está en esta columna cuando tiene un pilar degradado o tres resultados blancos en un área estratégica.

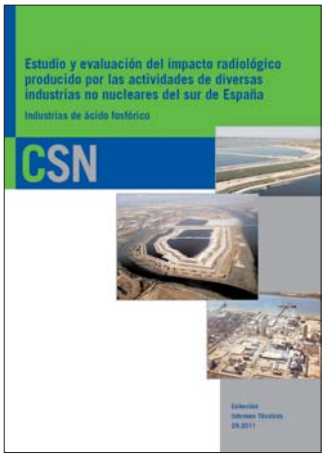
Columna correspondiente a múltiples/repetitivas degradaciones

Una central se encuentra en esta columna cuando tiene varios pilares degradados, varios resultados amarillos o un resultado rojo, o cuando un pilar ha estado degradado durante cinco o más trimestres consecutivos.

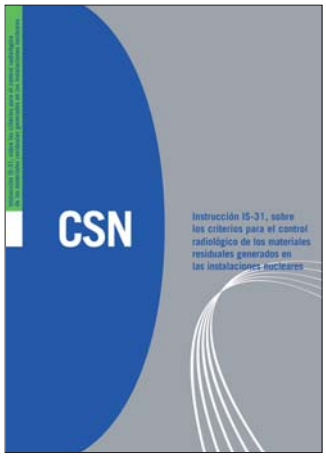
Columna de funcionamiento inaceptable

El Consejo coloca en esta situación a una central cuando no tiene garantía suficiente de que el Titular es capaz de operar la central sin que suponga un riesgo inaceptable.

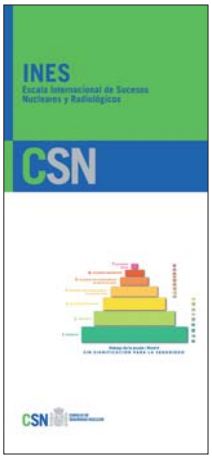
PUBLICACIONES



Estudio y evolución del impacto radiológico producido por las actividades de diversas industrias no nucleares del sur de España
Industrias de ácido fosfórico



Instrucción IS-31, sobre los criterios para el control radiológico de los materiales residuales generados en las instalaciones nucleares



INES
Escala Internacional de Sucesos Nucleares y Radiológiocos

VI Jornadas sobre Calidad en el Control de la Radiactividad Ambiental
Cáceres, 20 al 23 septiembre 2010

La dosimetría de los trabajadores expuestos en España durante los años 2006-2007
Estudio Sectorial

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

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

CSN CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

aLFa / Número 15 / III trimestre 2011