



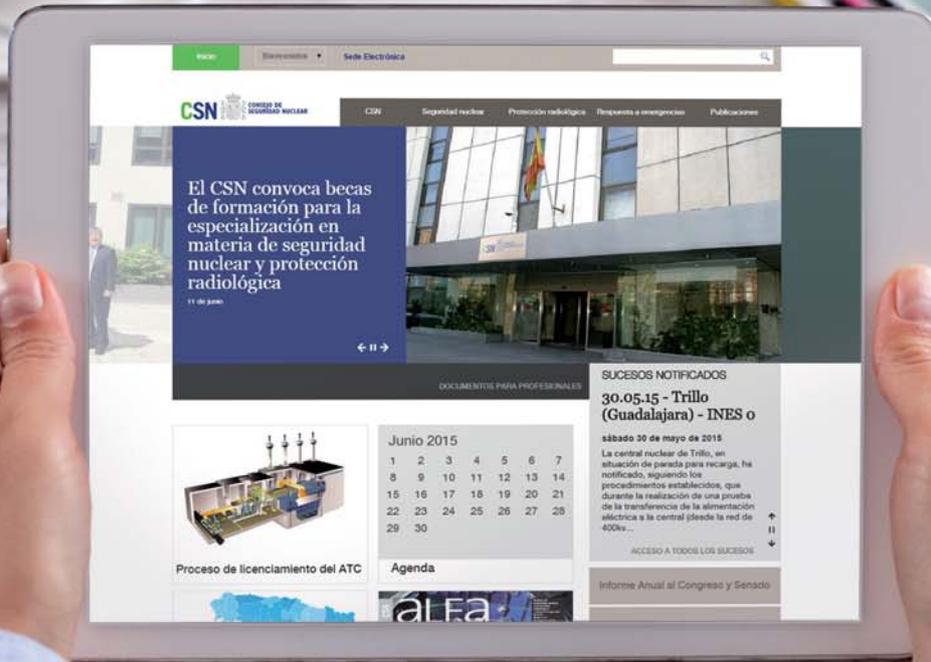
## El transporte de materiales y residuos radiactivos en España



**El CSN por dentro: la Subdirección de Tecnologías de la Información, un proceso continuo de innovación**

**Juan Carlos Lentijo, director general adjunto del OIEA: "Necesitamos avanzar en un modelo de seguridad nuclear sostenible, que no necesite otro accidente para seguir mejorando"**

**Nueva red de estaciones automáticas de vigilancia radiológica ambiental**



**El Consejo de Seguridad Nuclear estrena web con mejores contenidos, mejor usabilidad y un diseño *responsive* que se adapta a todas las pantallas y a los nuevos terminales inteligentes.**

**Toda la información sobre seguridad nuclear y protección radiológica, de la mano del organismo regulador, ahora más fácil de navegar y con una estructura más clara.**



[www.csn.es](http://www.csn.es)

# Actualizar la seguridad

Después de más de 20 años de operación, el Consejo de Seguridad Nuclear ha decidido, como está ocurriendo también en gran número de países de nuestro entorno, acometer una modernización de la Red de Estaciones Automáticas de vigilancia radiológica ambiental, la denominada REA, teniendo en cuenta los avances tecnológicos disponibles en la actualidad tanto desde el punto de vista del equipamiento radiométrico como de las conexiones y comunicaciones automáticas con la Sala de Emergencias del CSN. En esta modernización se van a tener en cuenta, además, las lecciones aprendidas del accidente de Fukushima en relación con las redes de vigilancia para situaciones de emergencia.

Actualmente, la REA se compone de 25 estaciones y lleva en funcionamiento desde 1992. Su configuración posee la doble finalidad de medir la calidad radiológica del aire de forma regular, tanto en situaciones normales como de emergencia. Con esta actualización, se pretende ampliar hasta 200 el número de estaciones que cumplan la misión de captar cualquier indicio sospechoso de radiactividad en el ambiente.

Aunque el riesgo cero no existe en ninguna actividad, la probabilidad de que algo pueda llegar a ocurrir se ve ampliamente reducida con la aplicación de las matemáticas. En Alfa explicamos cómo una materia, que en el colegio supone el gran drama de algunos estudian-

*Se pretende ampliar hasta 200 el número de estaciones para captar cualquier indicio de radiactividad en el ambiente*

tes, se convierte en el aliado más fiel a la hora de efectuar una estimación en situaciones de emergencia.

Las páginas de la entrevista de Alfa están dedicadas a Juan Carlos Lentijo, director general adjunto de Seguridad Nuclear del Organismo Internacional de Energía Atómica, y el español que ocupa el puesto de más responsabi-

dad dentro del OIEA asegura que necesitamos avanzar en el desarrollo de un modelo de seguridad nuclear que no necesite de otro accidente para seguir mejorando.

En este número 29, conoceremos tanto los programas de formación ocupacional relacionados con la protección radiológica, que en España se basan en acreditaciones y licencias de carácter individual concedidas por el Consejo de Seguridad Nuclear, como los requisitos que deben cumplir los transportes de materiales y residuos radiactivos por el territorio nacional.

En la sección *CSN por dentro* nos colamos en los servidores informáticos del Consejo para ir más allá del clásico código binario y comprobar cómo se estructura la Subdirección de Tecnologías de la Información y cuáles son sus funciones principales.

Además, sabremos qué novedades incorpora la ley que va a actualizar el Sistema Nacional de Protección Civil y qué supone tener una capacidad de actuación ante emergencias que es modelo en varios países del mundo y en el que participa activamente el Consejo de Seguridad Nuclear. ©

## ALFA

Revista de seguridad nuclear  
y protección radiológica  
Editada por el CSN  
Número 29

### Comité Editorial

Fernando Martí Scharfhausen  
Antonio Munuera Bassols  
Fernanda Sánchez Ojanguren  
Enrique García Fresneda  
Ángel Laso D'Lom  
Manuel Toharia Cortés  
Ignacio Fernández Bayo

### Comité de Redacción

Ángel Laso D'Lom  
Concepción Muro de Zaro

Natalia Muñoz Martínez

Antonio Gea Malpica  
Manuel Aparicio Peña  
Ignacio Fernández Bayo

### Edición y distribución

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

### Coordinación editorial

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

### Fotografías

CSN, Divulga, Javier Fernández,  
iStockphoto y Depositphotos

### Impresión

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

### Fotografías de portada

Enresa, CSN

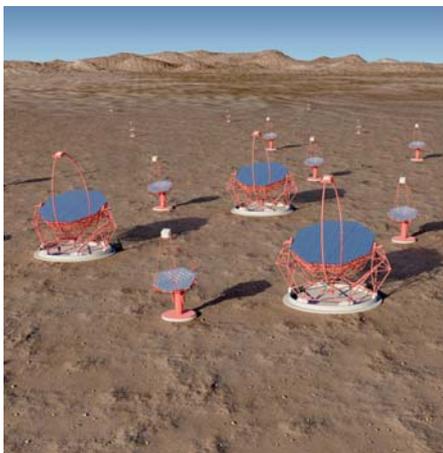
Depósito legal: M-24946-2012  
ISSN-1888-8925

© Consejo de Seguridad Nuclear

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

## REPORTAJES

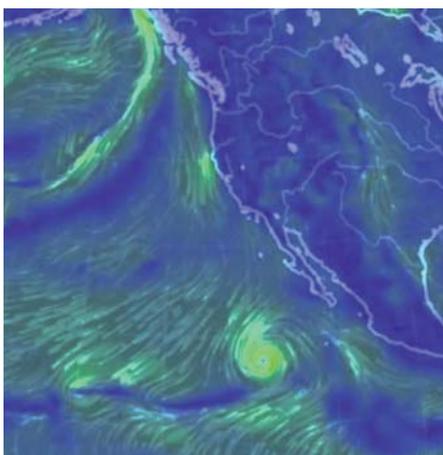
### 4 Los rayos gamma iluminan el universo



La radiación Cherenkov puede ser aprovechada para estudiar el universo en la región más energética del espectro electromagnético, la de los rayos gamma. La astronomía gamma permite estudiar los fenómenos más extremos del universo, y uno de los dos observatorios que se están construyendo dentro del proyecto internacional CTA con este objetivo estará ubicado en Canarias.

### 18 El transporte de materiales y residuos radiactivos en España

Los materiales radiactivos, tanto los que van a ser utilizados en las centrales nucleares, industrias, centros de investigación y hospitales e instalaciones médicas como los residuos que produce su utilización, deben ser transportados de acuerdo con una reglamentación rigurosa, que garantiza la seguridad de su gestión y que regula las características de los embalajes, el etiquetado, las rutas y los vehículos.



### 23 Los centinelas de la Tierra

Cientos de satélites de observación terrestre mantienen una vigilancia continua de todo tipo de variables ambientales, desde la temperatura de los océanos a la masa de hielo de la Antártida, de la deforestación de los bosques tropicales al consumo de agua para el regadío en cualquier explotación agraria. Ellos fueron los primeros en ofrecer testimonio del accidente de Fukushima.

### 45 En busca de la decisión perfecta

Con frecuencia, cuando se produce una emergencia inesperada las autoridades deben tomar decisiones de manera urgente. Para gestionar lo imprevisto de la forma más acertada, los matemáticos están desarrollando mecanismos de ayuda en una nueva disciplina, denominada ciencias de la gestión o investigación operacional, nacida tras los atentados del 11-S, que también tiene aplicación en otros ámbitos.



### 50 Preparados ante las emergencias

El impacto económico de las catástrofes, tanto naturales como tecnológicas, que se producen anualmente en España alcanza los 400 millones de euros, una cantidad escasa, según los expertos, gracias al Sistema Nacional de Protección Civil, basado en una ley de 1985. Pese a servir de modelo para otros países, una nueva normativa, que entrará en vigor en 2016, pretende mejorarlo y modernizarlo.

### 30 RADIOGRAFÍA

Los parques eléctricos en las centrales nucleares.

## EL CSN POR DENTRO

### 56 **Subdirección de Tecnologías de la Información, un proceso continuo de innovación**

Las tecnologías de la información y la comunicación son hoy fundamentales para cualquier empresa o institución. En el Consejo de Seguridad Nuclear se encarga de este cometido la Subdirección de Tecnologías de la Información, que proporciona el conjunto de recursos tecnológicos necesarios para la comunicación, procesamiento, almacenamiento, transmisión y seguridad de la información en las múltiples actividades que desarrolla el organismo.

## ENTREVISTA

### 32 **Juan Carlos Lentijo, director general adjunto del OIEA**

“Necesitamos avanzar en un modelo de seguridad nuclear sostenible, que no necesite otro accidente para seguir mejorando”

## ARTÍCULOS TÉCNICOS

### 10 **Nueva Red de Estaciones Automáticas integrada en la Red de Vigilancia Radiológica Ambiental del CSN**

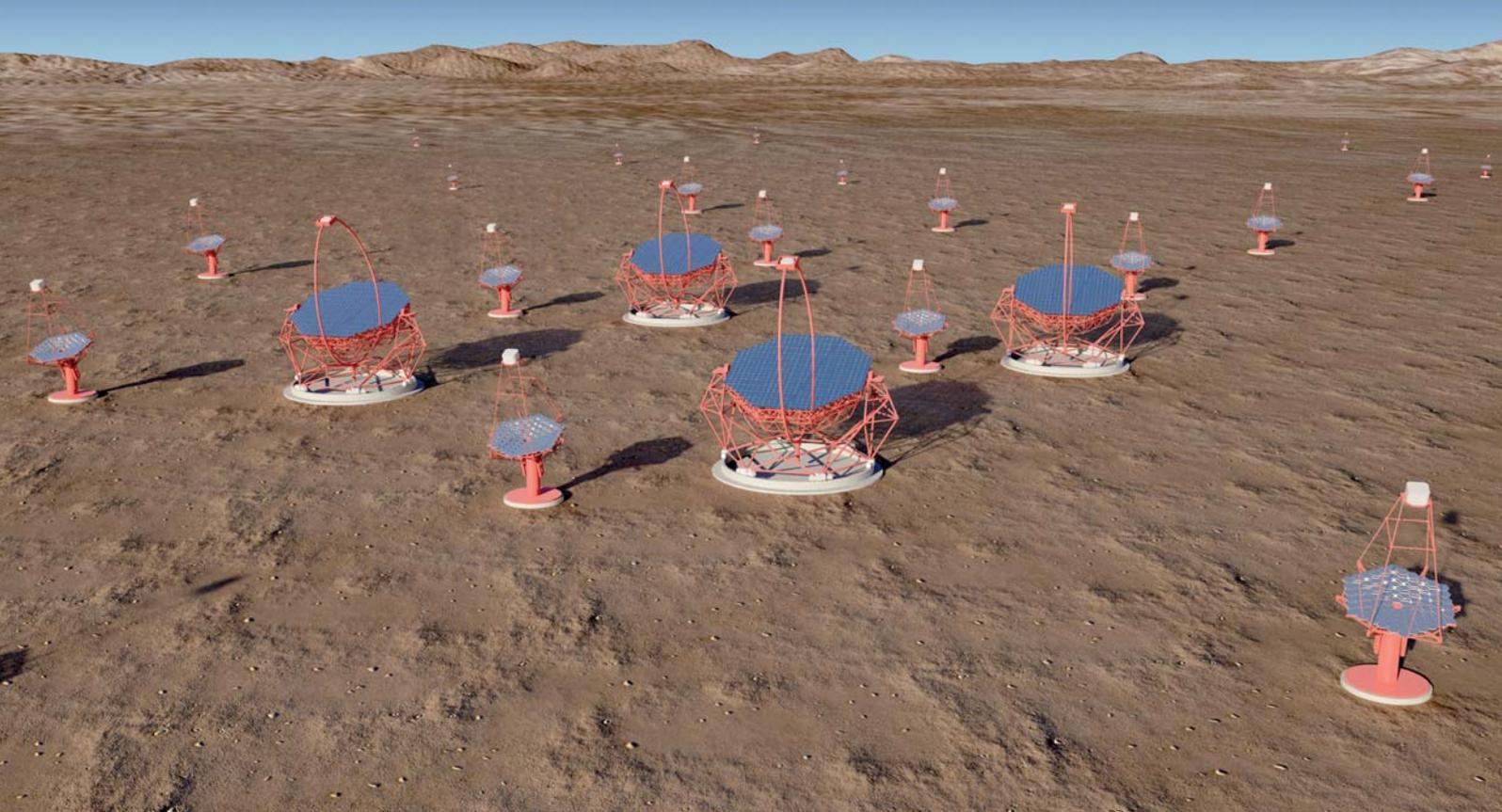
El Consejo puso en marcha en 1992 una red formada por 25 estaciones automáticas para la monitorización continua de la calidad radiológica del aire y la detección de situaciones anómalas. Ahora ha decidido proceder a renovar y modernizar estas instalaciones, incorporando sensores y sistemas de conexión y comunicación automáticos de la mejor tecnología actualmente disponible.

### 38 **Consolidación de la utilidad del portal educativo de protección radiológica CSN-Ciemat**

Los trabajadores de instalaciones nucleares y radiactivas deben realizar programas de formación en protección radiológica para conseguir las acreditaciones y licencias que concede el CSN. Desde 2003, el Consejo y el Ciemat colaboran en el desarrollo, mantenimiento y actualización del material docente de estos cursos, de los que se han impartido ya más de un millar, cuyos contenidos son accesibles a través de internet.



- 50 **Reacción en cadena**
- 63 **Panorama**
- 66 **Acuerdos del Pleno**
- 67 **csn.es**
- 68 **Publicaciones**



Recreación del conjunto de telescopios que formarán el observatorio de La Palma.

España albergará el observatorio más grande del mundo para localizar los sucesos más violentos del espacio y la materia oscura

## Los rayos gamma iluminan el universo

En 1492 zarparon desde las Islas Canarias la Pinta, la Niña y la Santa María en busca de un camino más corto a la India. No lo lograron, pero se toparon con un nuevo continente. Más de cinco siglos después, las afortunadas serán otra vez escenario de un viaje a lo desconocido: construir el observatorio terrestre más grande del mundo para capturar la radiación gamma. La Red de Telescopios Cherenkov (CTA, en sus siglas en inglés) va a intentar lo-

calizar los procesos más violentos del universo que son los que generan estos fotones. Tras Colón, las cartas náuticas incorporaron tierras olvidadas; ahora, los mapas celestes se completarán con nuevas supernovas, agujeros negros y, posiblemente, objetos aún desconocidos. El alcance de esta nueva visión del universo, del que sólo se conoce un diez por ciento, es impredecible. ■ Texto: **Elvira del Pozo** | periodista científica ■

**D**esde que el tiempo es tiempo, el hombre ha intentado representar el mundo que le rodea para entenderlo. Primero observó lo que tenía a simple vista: los mamuts, las estrellas. Al quedarse cortos sus ojos, inventó los catalejos y descubrió anillos en los planetas e islas lejanas. Después llegaron los

telescopios y se localizaron otras galaxias y corpúsculos nuevos. Más allá, la oscuridad. Hasta hace dos décadas, cuando el estudio de los rayos gamma espaciales alumbró donde la óptica no alcanzaba. Y aparecieron agujeros negros y supernovas. En definitiva, los fenómenos más explosivos que se conocen.

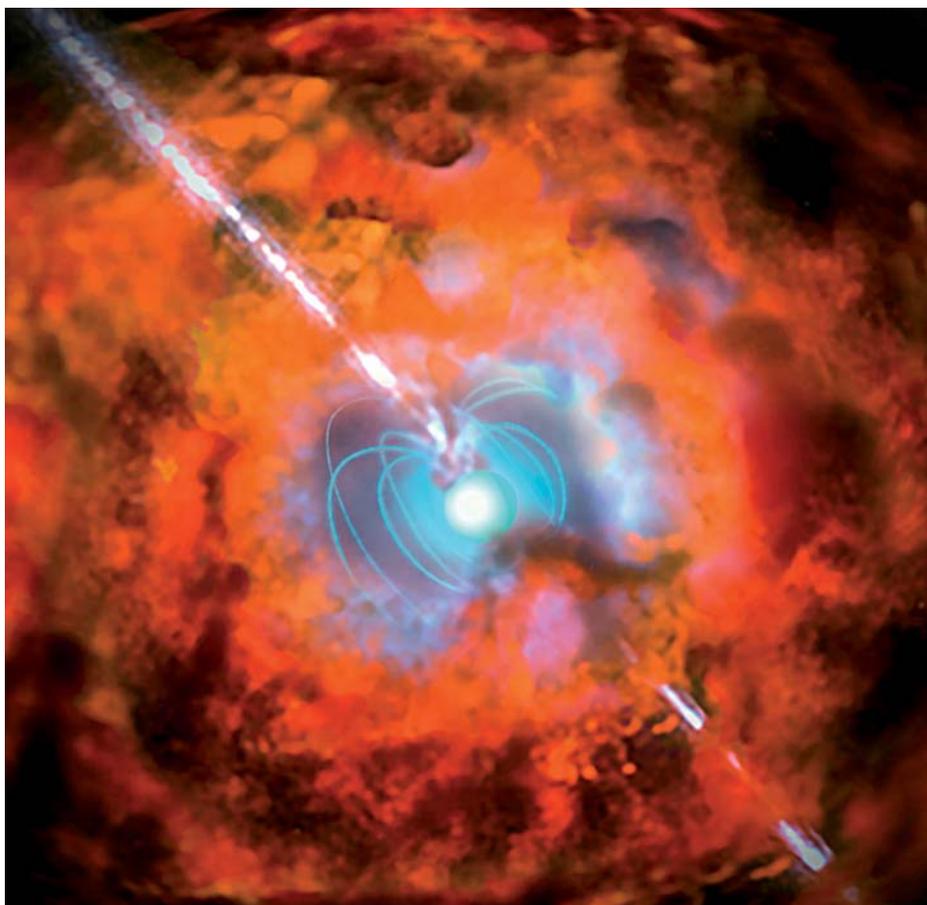
Ahora, 20 años después, se comenzará a construir la Red de Telescopios Cherenkov (CTA), que formarán el observatorio terrestre más grande del mundo que capte radiación gamma, explica el investigador principal de la CTA-España, Ramón García. Estará formado, según dice, por aparatos diez veces más

potentes que los instrumentos actuales. Y promete localizar miles de objetos emisores frente a los poco más de 150 que se han descubierto desde que se desarrolló esta técnica.

Esta iniciativa parte de la colaboración de 27 países, entre los que figura España, y se espera que comience a funcionar a partir de 2022. Contará con dos sedes, una en cada hemisferio, para cubrir la totalidad del cielo. La situada en el norte, estará en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en La Palma (Islas Canarias) y captará los rayos gamma generados fuera de nuestra galaxia. Para ello contará con diecinueve peculiares telescopios, cuya forma es la de una antena parabólica. Cuatro serán LST (del inglés, *Large Size Telescopes*), de unos 23 metros de diámetro —como un edificio de ocho plantas—, y 15 MST (*Medium Size Telescopes*), de unos 12 metros. Su distribución no será aleatoria sino que se dispondrán formando una circunferencia de 600 metros de diámetro, donde los grandes ocuparán el centro.

En el hemisferio sur, estará el Observatorio Europeo Austral, en Chile. Allí se colocarán cerca de 100 telescopios, entre los que habrá, además, muchos de pequeño diámetro SST (del inglés *Small Size Telescopes*), de entre seis y diez metros. Desde esta parte de la Tierra se divisa la mayor parte de la Vía Láctea, así que el objetivo de este centro serán los rayos gamma generados en nuestra propia galaxia.

Gracias a este par de ojos, la CTA quiere observar el universo como prácticamente no se había mirado antes. Hasta ahora sólo se ha cartografiado el diez por ciento de los astros que emiten con esta longitud de onda, por lo que no se sabe con certeza qué tipo de objetos celestes se van a encontrar, explica García, investigador del Instituto de Astrofísica de Canarias. Además, la Red pretende determinar la procedencia de los rayos



Simulación de una explosión de rayos gamma.

cósmicos y demostrar la existencia de la materia oscura, entre otros objetivos.

### Grandes y violentas

La radiación gamma es la más energética que se conoce y se genera en “los sucesos más violentos del universo”, según

dice el miembro del consorcio CTA-España y astrónomo de la Universidad Complutense de Madrid, Ignacio de la Calle. Si un observatorio detecta esos rayos, significa que existe un cuerpo espacial que los produce. Puede ser una galaxia de formación estelar, donde el ritmo



Ramón García, segundo por la izquierda, con miembros del consorcio CTA.

de nacimiento y muerte de estrellas es mucho más elevado; o una de núcleo activo —con un agujero negro en el centro—. También puede tratarse de sistemas binarios de estrellas o de nebulosas.

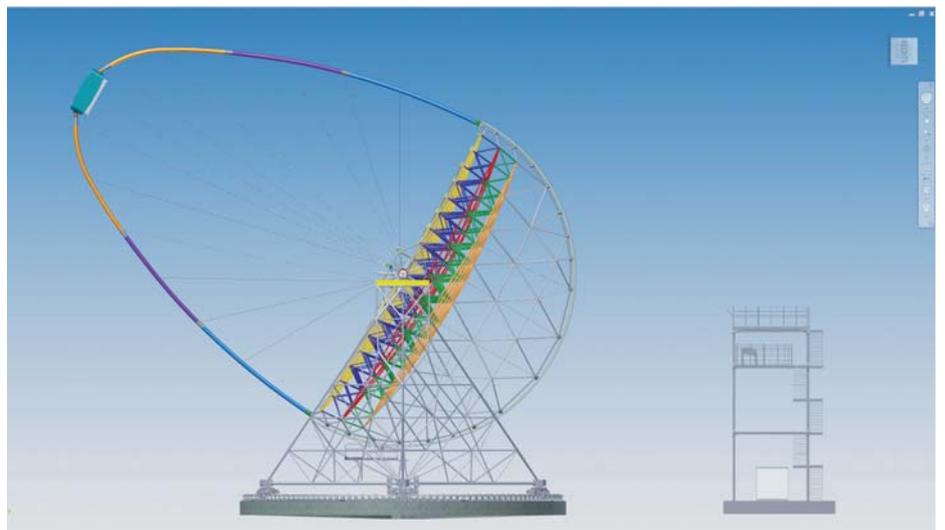
Casi todos los objetos del universo emiten fotones, aunque cada uno con un patrón distinto de energía y, consecuentemente, con longitudes de onda diferentes. Así, las supernovas brillan de una manera específica y los púlsares —estrellas de neutrones que giran muy rápido sobre sí mismos— de otra. De este modo, no sólo se sabe el foco de la radiación, sino también quién es el responsable, cuenta De la Calle. Es como si se tratara de un código náutico (ya que cada tipo de embarcación tiene una disposición de luces que lo delata durante la noche) pero aplicado al cosmos.

Además, conocer lo que nos rodea tiene posibles aplicaciones prácticas: conseguir sistemas de producción de energía más eficientes, por ejemplo. La radiación gamma es una porción muy pequeña de los rayos cósmicos que llegan a la Tierra, que en su mayoría está formada por partículas subatómicas que se mueven con una velocidad muy elevada y una energía mucho mayor que la que se alcanza en los aceleradores de partículas creados por el hombre. Y, hasta la fecha, se desconoce de dónde proceden. Determinar el origen permitiría entender cómo funcionan esos aceleradores naturales. Y, como el movimiento produce energía, quizás se podrían reproducir esos mecanismos de forma controlada para su aprovechamiento, puntualiza De la Calle.

La dificultad de saber la procedencia de la radiación cósmica se debe a que las partículas de las que está formada están cargadas. Por eso, en su camino hacia la Tierra se ven sometidas a campos magnéticos y a la acción de otros cuerpos que modifican su trayectoria. Tan sólo se libran los pocos fotones gamma que



Ignacio de la Calle, miembro del consorcio CTA-España y astrónomo de la Universidad Complutense.



Esquema de un telescopio de radiación Cherenkov.

viajan con ellas. De tal manera que, si se consiguiese aislarlos, en teoría, se podría deducir el origen de todo el conjunto, comenta el astrónomo.

### Una cerilla en el Sol

“Si alguien observara nuestro sistema solar pero no viera el Sol, podría predecir su existencia a partir del movimiento de los planetas”, explica De la Calle. Esas elipses concéntricas requieren una masa considerable en el centro. De manera equivalente, el comportamiento del resto de objetos del cosmos sólo se explica si existe más sustancia de la que se ha observado hasta ahora. Es la conocida como materia oscura y se cree que for-

ma el 85 por ciento del universo. Algunos modelos predicen que las partículas de este escurridizo ingrediente emiten radiación gamma cuando chocan entre sí, cuenta De la Calle. El problema es que si se dieran estos chasquidos, serían muy débiles y quedarían enmascarados por otras fuentes más fuertes. “Es como intentar ver una cerilla encendida en la superficie del Sol”, comenta.

Por eso se apunta con el telescopio a objetos cercanos y poco luminosos, como unas galaxias enanas cerca de la Vía Láctea. Como se sabe cuánta radiación debería recibirse de ella, si se detectara más, se podría demostrar la existencia de la materia oscura.

## España, potencia astronómica

El Observatorio del Roque de los Muchachos, en la isla de La Palma, es uno de los tres mejores observatorios astronómicos del mundo, cuenta Ramón García, investigador del Instituto Astrofísico de Canarias. Los otros dos son el Observatorio Europeo Austral, en el norte de Chile, y el de Mauna Kea, situado en un volcán inactivo de Hawái (EE.UU). Esto explica que haya sido elegida recientemente una de las dos sedes de la Red internacional de Telescopios Cherenkov.

La propuesta española se impuso a la mexicana, su principal competidora. En la elección se tuvo en cuenta que el 70 por ciento de la fuerza de trabajo del consorcio es europea. En este contexto, ya que ningún país de la Unión podía aspirar a ser el observatorio del hemisferio sur, es lógico que el norte haya recaído en España, explica García.

También, "muy determinante" ha sido el apoyo económico que el Gobierno ha ofrecido al proyecto. Aportará 40 millones de euros, lo que supone más de la mitad del coste total de la infraestructura, comenta el científico perteneciente al consorcio CTA-España. En palabras de la secretaria de Estado de Investigación, Desarrollo e Innovación, Carmen Vela, "España es una de las principales potencias mundiales en esta disciplina y quiere seguir siéndolo, por lo que la red de telescopios CTA es una oportunidad que no podíamos dejar escapar".

### A la caza del destello azul

Hay un problema para captar los rayos gamma desde la Tierra: la atmósfera los detiene e impide que la traspasen para llegar a la superficie. Afortunadamente, porque es una radiación muy peligrosa para los seres vivos.

Por eso, para detectarlos se aprovecha una forma indirecta. Estos fotones tan energéticos chocan en la zona alta de la atmósfera (a una altitud de unos 30 kilómetros) y generan nuevas partículas y estas, a su vez, otras distintas y así sucesivamente. Se forma una cascada de partículas, principalmen-

## Los telescopios Cherenkov

Los fenómenos más violentos del universo, como las explosiones de estrellas en supernovas o los agujeros negros supermasivos producen grandes destellos de rayos gamma. Para intentar entender cómo funcionan estos enormes aceleradores de partículas, 1.500 científicos e ingenieros de todo el mundo han establecido una colaboración para construir la Red de Telescopios Cherenkov (CTA).

### Así funciona el sistema

Habrà dos observatorios, uno en cada hemisferio terrestre, para poder cubrir todo el cielo. Cada red se compone de tres tipos de telescopios. En España se ubicará en las Islas Canarias, en el Observatorio del Roque de los Muchachos.



\* emplazamientos alternativos

### LA RED DE TELESCOPIOS

En el centro se sitúan los mayores telescopios (23 metros de diámetro) rodeados de decenas de telescopios medianos (12 metros) y pequeños (6 metros). El mayor observatorio estará en el sur, con un área de 3 km<sup>2</sup>.



### TRES TAMAÑOS DE ESPEJOS

Los tres tipos de telescopio, de diferente diámetro, están diseñados para recibir la luz producida por los rayos gamma de desiguales energías.



Una matriz de telescopios muy sensibles puede detectar los rayos gamma de alta energía pese a que la atmósfera de la Tierra evita que estos rayos lleguen hasta el suelo.

CTA DEL HEMISFERIO SUR  
3 KM<sup>2</sup>



FUENTE: CTA-observatory, MPI Physics, Nature

## Solar, de día; cósmica, de noche

Cuando todavía no se había construido la segunda generación de telescopios Cherenkov, la superficie de los que en ese momento había resultaba insuficiente para el avance en los estudios de radiación gamma. Así que surgió una idea: utilizar los grandes heliostatos de las centrales solares térmicas como captores nocturnos de estos rayos. En España, entre 1996 y 2001, se llevó a cabo el proyecto GRAAL en la Plataforma Solar de Almería, perteneciente al Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat).

La instalación captaba los rayos solares por el día, mientras que por la noche cazaba los gamma. A diferencia de un observatorio Cherenkov, en el que cada telescopio graba sus propias imágenes, aquí todos los espejos reflejan las imágenes en un solo punto situado en una torre central de 70 metros de altura”, cuenta el responsable científico español del proyecto, Fernando Arquero.

En la iniciativa participaron la Universidad Complutense de Madrid y el Instituto alemán Max Planck. Y no tuvo continuidad porque era muy difícil eliminar la interferencia del fondo de rayos cósmicos. A pesar de eso, el proyecto supuso un hito en la optimización de recursos para la investigación. Además, “el proyecto fue muy importante porque demostró que era necesario invertir en observatorios de Cherenkov”.

ta de luz ultravioleta que emiten las velozes partículas y se la conoce con el nombre de radiación de Cherenkov, en honor a su descubridor y premio Nobel de física de 1958. Esta radiación también se produce en el interior de los reactores nucleares, generando una peculiar luz azulada.

En la atmósfera, el impacto forma un cono de destellos también azules, con la misma dirección del rayo gamma que lo originó y de varios miles de metros de largo. Y es a unos diez kilómetros sobre la superficie terrestre (la altitud a la que vuela un avión comercial), cuando se producen más fotones Cherenkov. Cuanto mayor sea la energía del rayo gamma original, mayor número de estos fotones se producirá y más fácil será que se detecten, explica De la Calle ¿Se sorprendería un transeúnte insomne? En absoluto: el ultravioleta es imperceptibles al ojo humano y, además, dura unos nanosegundos (en torno a 0,000000001 segundos).

Tampoco lo captaría un telescopio óptico, sino uno especial al que de nuevo el físico ruso pone nombre. Estos inusuales espectadores están formados por una colección de grandes espejos –y no lentes- para atrapar el mayor número de esos débiles y efímeros fotones. Lo que será más probable cuanto mayor sea la superficie del cristal. “Si en una pista de tenis de pronto alguien te tira de golpe 100 pelotas desde el otro lado de la red, cuanto mas grande sea tu raqueta, mas bolas recogerás de un solo movimiento”, explica De la Calle.

Cada reflector está formado, en realidad, por un conjunto de espejos más pequeños capaces de rotar individualmente. Así se garantiza la forma de parábola necesaria para concentrar todos los rayos capturados. Los cambios de orientación del telescopio y la acción del viento hacen que los cristales se muevan, por lo que hay que corregir permanentemente su posición, cuenta García.

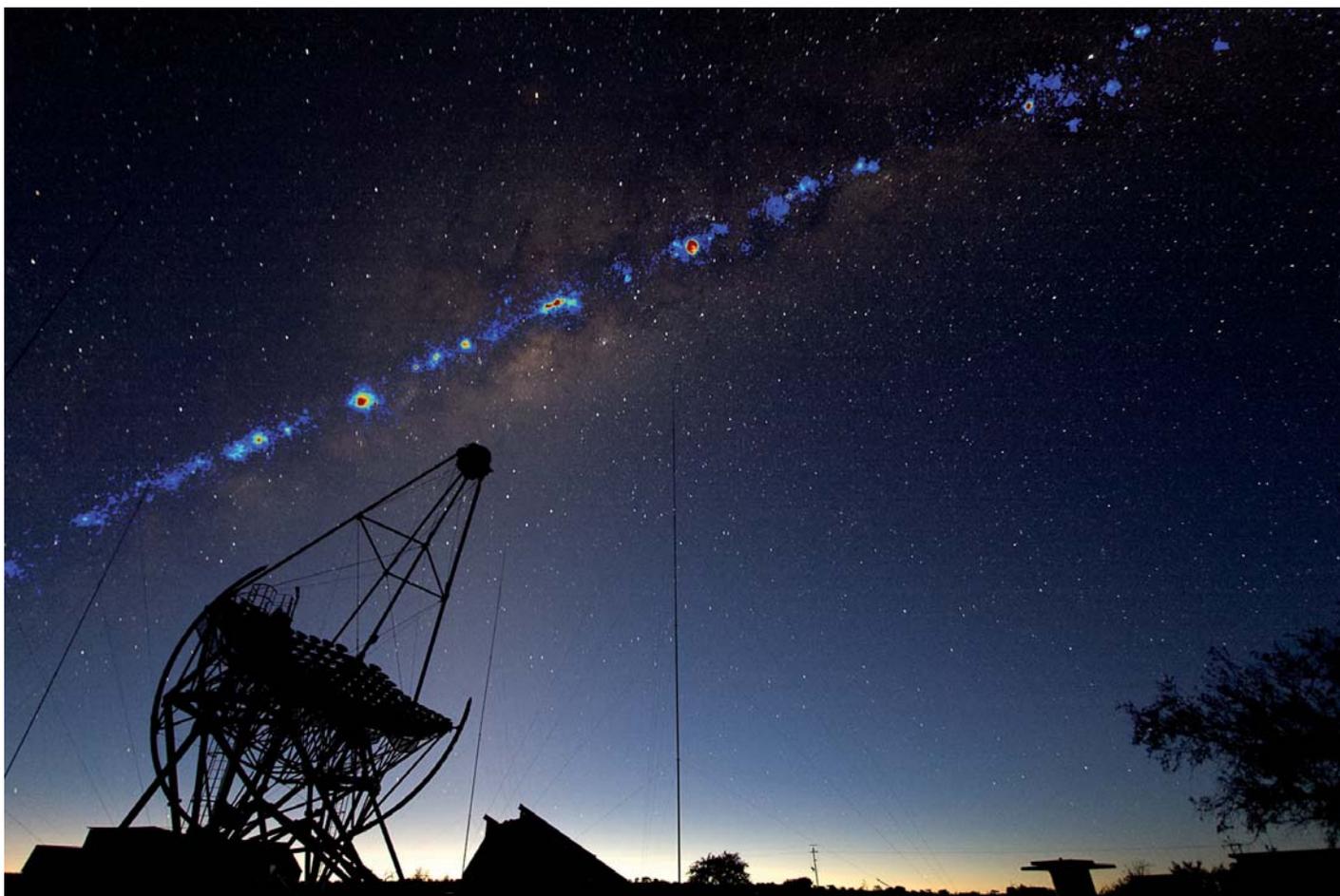


Plataforma Solar de Almería, donde se llevó a cabo el proyecto GRAAL.

te electrones y positrones, que se precipita a gran velocidad hacia la superficie terrestre.

La radiación generada en esa cascada tiene la peculiaridad de viajar más rápido que la luz en el aire (no es que supere el célebre límite de 300.000 km por segun-

do, sino que la luz viaja más lenta cuando cruza la atmósfera). Y “del mismo modo que cuando un avión rompe la barrera del sonido y se oye un impacto; estas partículas, al sobrepasar la velocidad de la luz en el aire producen un choque lumínico peculiar”, explica García. Se tra-



Montaje del cielo de Namibia visto en rayos gamma sobre el telescopio Cherenkov H.E.S.S., que tomó la imagen.

Estos telescopios no visualizan todo el cielo. Han de dirigirse hacia dónde se sabe (o se cree) que está el objeto espacial emisor de radiación gamma. Cada fotón gamma que llegue desde allí ilumina con radiación Cherenkov un círculo de 120 metros de radio en la corteza terrestre. “Como si fuera una linterna”, describe De la Calle. Un telescopio de Cherenkov no necesitaría estar apuntando a la dirección del rayo originario, si no que le basta con estar dentro de la zona alumbrada.

### Mucho ruido

Para localizar el mayor número de cascadas posibles, los observatorios de este tipo suelen tener varios telescopios distribuidos en una extensión grande de tierra. También así se consigue reducir el ruido provocado por los rayos cósmicos, que proceden de todas partes del

universo y que también generan cascadas de Cherenkov. Al poner en común las imágenes que cada telescopio graba con una cámara súper rápida, es posible reconstruir la trayectoria de los rayos gamma originarios y saber de donde vienen. También se determina su espectro energético. “Y estas dos cosas son lo que hace posible usar los rayos gamma para hacer astrofísica y estudiar los distintos astros”, comenta De la Calle.

Estos propósitos son los mismos que se persiguen desde el comienzo del uso de la tecnología basada en la radiación Cherenkov. El telescopio terrestre pionero fue Whipple, situado en Arizona (Estados Unidos). También a la primera generación de detectores perteneció el complejo HEGRA, en La Palma. Después llegó la segunda tanda de instrumentos: VERITAS (de nuevo en Arizo-

na), HESS (Namibia) y MAGIC (La Palma). El CTA corresponde a la tercera y más moderna generación, que supone un salto cualitativo con respecto a las anteriores, comenta García.

Los rayos gamma también se pueden medir de manera directa gracias a telescopios situados en satélites artificiales, cuenta García. El problema es que resulta mucho más caro. Además, los fotones captados son tan débiles que requiere concentrarlos mucho para obtener datos concluyentes. Frente a ello, el observatorio CTA supone una alternativa prometedora: no sólo será diez veces más potente que los instrumentos actuales, sino que cubrirá mucha mayor extensión del espacio.

Ante la posibilidad de visionar el universo a otra frecuencia, los resultados son impredecibles. “Estamos destapando la caja de Pandora”, concluye García. ©



# Nueva Red de Estaciones Automáticas integrada en la Red de Vigilancia Radiológica Ambiental del CSN

En 1992 se puso en marcha la instalación de una red de 25 estaciones automáticas dotadas con sistemas de medición de radiactividad ambiental, que permitía tanto realizar una monitorización continua de la calidad radiológica del aire como detectar situaciones anómalas de incremento de los niveles radiológicos, que pudiesen indicar una emergencia, y generar una señal de alarma. Denominada Red de Estaciones Automáticas (REA), el Consejo de Seguridad Nuclear ha decidido proceder a la modernización de las instalaciones que la componen, incorporando los avances tecnológicos dis-

ponibles en la actualidad, tanto en el equipamiento de los sensores como en la mejora de las conexiones y comunicaciones automáticas que la REA mantiene con la Sala de Emergencias del CSN. Se tendrán en cuenta, además, las lecciones aprendidas del accidente de Fukushima en relación con las redes de vigilancia para situaciones de emergencia. ■ Texto: **Cristina Parages Pérez del Yerro** | Área de Coordinación de Operaciones de Emergencia | **Juan Pedro García Cadierno** | Jefe de Área de Coordinación de Operaciones de Emergencia | **Miguel Calvín Cuartero** | Subdirector de Emergencias y Seguridad Física ■

**E**l Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) gestiona la red de vigilancia radiológica de ámbito nacional que está constituida por estaciones automáticas y de muestreo. Esta red permite conocer los niveles de la radiactividad del aire, de las aguas y del suelo y, mediante los muestreos, determinar también la de los productos alimentarios básicos, como la leche, y los que componen una dieta completa o dieta tipo.

Recientemente, el Pleno del organismo regulador ha aprobado la propuesta de diseño funcional de la red de estaciones que vigilan la calidad radiológica del aire en todo el territorio nacional. Actualmente, la Red de Estaciones Automáticas de vigilancia (REA) se compone de 25 estaciones y lleva en funcionamiento desde 1992. Su configuración posee la doble finalidad de medir la calidad radiológica del aire de forma regular, tanto en situaciones normales como de emergencia.

La REA tiene por objeto la vigilancia en tiempo real de la radiactividad en la atmósfera. Esta red está integrada por diversas estaciones automáticas que disponen de instrumentación para medir en continuo variables radiológicas como la tasa de dosis gamma, la concentración de partículas alfa y beta y la concentración de radioyodos; y permite también realizar una estimación de la concentración de Radón-222 en aire. Además, registra diversas variables meteorológicas (temperatura, humedad relativa, dirección y velocidad del viento, precipitación y presión atmosférica).

La recepción, gestión y análisis de los datos recogidos por las estaciones automáticas se hace desde la Salem del CSN, que también dispone de acceso a los datos de las redes de las comunidades autónomas de Valencia, Extremadura, Cataluña y País Vasco.

Después de más de 20 años de operación, el Consejo de Seguridad

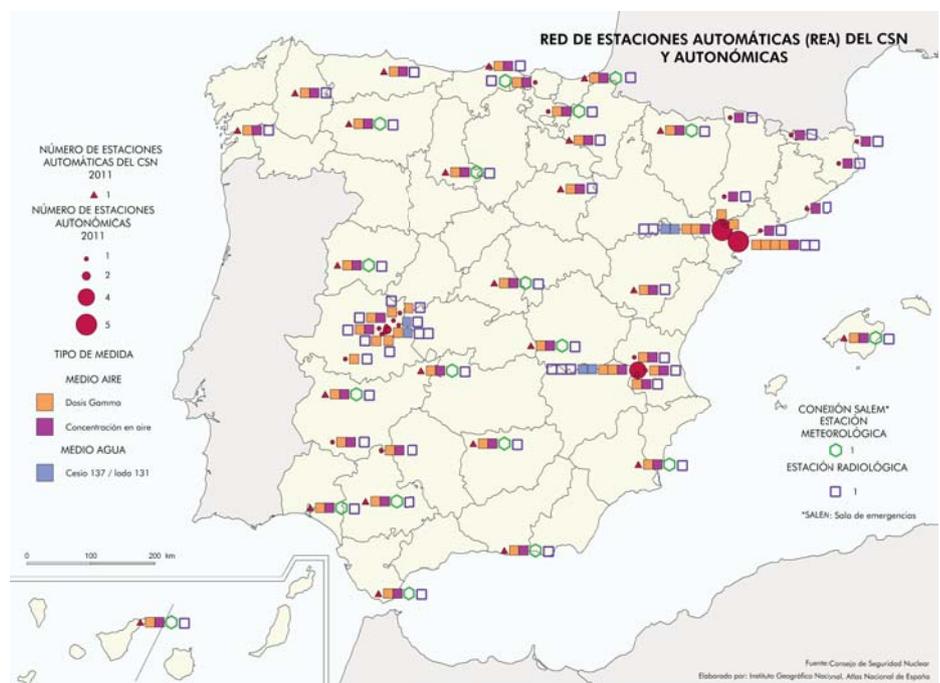
Nuclear ha decidido, como está ocurriendo también en gran número de países de nuestro entorno, acometer una modernización de la red teniendo en cuenta los avances tecnológicos disponibles en la actualidad, tanto desde el punto de vista del equipamiento radiométrico como de las conexiones y comunicaciones automáticas con la Salem. En dicha modernización se tendrán en cuenta las lecciones aprendidas del accidente de Fukushima en relación con las redes de vigilancia para situaciones de emergencia.

La vigilancia radiológica a través de estaciones automáticas se completa con la recepción en el CSN de los datos de las cerca de mil estaciones que integran la Red de Alerta de la Radiactividad (RAR) de la Dirección General de Protección Civil y Emergencias.

Con la reforma, el CSN se propone que la nueva red de estaciones automáticas sea una red de emergencias, que vigile de manera continua los niveles de radiactividad en la atmósfera. Así, deberá detectar rápidamente incrementos en los niveles de fondo radiológico como consecuencia de incidentes o accidentes

radiológicos, tanto de origen nacional como ocurridos en el extranjero. Cuando los valores de radiactividad excedan de ciertos umbrales se activarán automáticamente unas alarmas que alertarán a los técnicos y responsables de la red. La información proporcionada por la red permitirá evaluar la gravedad de las consecuencias radiológicas del accidente y ayudará a la toma de decisiones sobre las medidas de protección a la población, con el fin de minimizar las consecuencias del accidente.

La nueva red por tanto debe basarse en criterios puramente de gestión de emergencias y no debe estar condicionada por funcionalidades de otro tipo, como las de vigilancia medioambiental, ni por posibles restricciones establecidas en la red actual. Asimismo, dicha red debe ser operativa ante grandes catástrofes, como la ocurrida en el accidente de Fukushima. Además, con esta nueva red los gastos derivados del mantenimiento de las estaciones se simplificarán, ya que las labores de mantenimiento serán más fáciles de realizar y no habrá material fungible para la operación de los nuevos sensores.





Sonda de tasa de dosis gamma e instrumentación de medida de parámetros meteorológicos de una estación de la REA.

Para la especificación de la nueva red se han tenido en cuenta:

1. El estudio realizado por el grupo técnico de renovación de la REA. Dicho grupo estuvo compuesto por técnicos del CSN, Generalitat de Cataluña, Generalitat Valenciana, Junta de Extremadura y Gobierno Vasco, así como sus respectivas unidades de apoyo tecnológico.

2. Visitas realizadas por técnicos del CSN a Alemania y a Francia para conocer sobre el terreno las características de las nuevas redes que dichos países han diseñado para el mismo objetivo que se plantea para la nueva REA del CSN.

3. Visitas de miembros del CSN a las comunidades autónomas de Cataluña y Extremadura para conocer el estado de los proyectos de investigación sobre el funcionamiento de diferentes tipos de detectores, que están llevando a cabo las universidades.

4. Análisis de diversas redes europeas a través de la información proporcionada en las reuniones de la plataforma EURDEP (European Radiological Data Exchange Platform), en particular sobre las redes de Bélgica y de Finlandia a tra-

vés de los representantes de los organismos reguladores de estos países (FANC y STUCK respectivamente).

5. Características de los sensores de las marcas comerciales punteras en la vigilancia radiológica del aire tanto en situaciones de emergencia como en situaciones normales, en cuyas caracte-

rísticas se ha profundizado a través de las reuniones mantenidas entre técnicos del CSN y representantes de las casas comerciales.

Este informe trata de explicar la propuesta de la nueva configuración de la REA, así como los compromisos y acuerdos que deberán realizarse para garanti-



Sonda para la medida de tasa de dosis de una estación de la REA.



Estación de la REA en Tarifa.

zar el buen funcionamiento de la misma.

### Tipo de estaciones

De acuerdo con el objetivo que se pretende dar a la nueva red, esta ha de constar de tres tipos de estaciones:

1. Estaciones que midan la tasa de dosis en localizaciones geográficas fijas. Di-

chas estaciones deberán estar situadas dentro de las zonas de planificación definidas en los Planes de Emergencia Nuclear en Burgos (PENBU), Cáceres (PENCA), Guadalajara (PENGUA), Tarragona (PENTA) y Valencia (PENVA); en las capitales de provincia y ciudades de más de 100.000 habitantes y en otros emplaza-



Estación radiológica automática (ERA) de una estación de la REA.

mientos nucleares (Fábrica de combustible de Juzbado, El Cabril y el futuro Almacén Temporal Centralizado).

Para la ubicación de las estaciones en las zonas de planificación se deberá tener en cuenta la distribución geográfica de la red de estaciones propiedad de la Dirección General de Protección Civil y Emergencias, que miden la tasa de dosis, a pesar de que la fiabilidad, sensibilidad y precisión de esta red sería muy inferior a la propuesta en el presente documento. Además se tendrá en cuenta la potencial ampliación de dichas zonas que se está considerando en la futura revisión del Plan Básico de Emergencia Nuclear (PLABEN). Esta ampliación es consecuencia de las lecciones aprendidas tras el accidente de la central nuclear de Fukushima.<sup>1</sup> Esta red podría estar compuesta por 150 estaciones.

2. Estaciones fijas que realicen espectrometría gamma *in situ* de forma automática. Estarán repartidas por todo el territorio nacional y al menos la mitad del total (25 estaciones) se situarán en las zonas de planificación de las instalaciones nucleares. Esta red podría estar compuesta por 50 estaciones.

3. Estaciones portátiles de lectura de tasa de dosis. Esta red consistiría en un conjunto de sensores que estarían custodiados en el CSN y que se podrían llevar a cualquier punto accesible del territorio nacional en caso de emergencia. Estas estaciones dispondrán de alimentación eléctrica autónoma, así como de un sistema fiable de transmisión de datos en caso de emergencia.

El conjunto de estaciones portátiles se justifica a raíz del accidente de Fukushima, en el cual las autoridades japonesas no pudieron disponer de lecturas de

<sup>1</sup> Previsiblemente las zonas de planificación se ampliarán de la siguiente forma:

- Zona I (pasa de 10 km a 15 km)
- Zona II (pasa de 30 km a 50 km)

los monitores que configuraban la red de estaciones radiológicas en los primeros días del accidente por pérdida de suministro eléctrico y de comunicaciones en la zona. Esta red podría estar constituida por 15 estaciones.

Así pues, en su conjunto la red estaría compuesta por un total de 200 estaciones que, en caso de emergencia, podría verse ampliada a 215 estaciones.

Se descarta medir la concentración radiactiva en aire mediante espectrometría multicanal efectuada sobre filtro continuo para la retención de aerosoles, ya que esta se utiliza para medir concentración de baja actividad. Esta se emplea en la vigilancia radiológica ambiental en situación normal más que en situaciones de emergencia

### Tipos de sensores

Teniendo en cuenta las distintas estaciones señaladas en el punto anterior, las características técnicas que deberán poseer todos los detectores a instalar son las siguientes:

— Rango de medida: Desde 10 nSv/h hasta pocos mSv/h.

— Energía: Desde 40 keV hasta 3 MeV.

— Puerto de salida: RS-232, RS-485, o RS-422<sup>2</sup>

— Consumo: max 50 mA (10 - 24 V<sub>DC</sub>) 3 W.

— Capacidad de almacenamiento: 24 horas de datos

— Temperaturas de trabajo: Desde -30°C hasta 60°C.

### Detectores proporcionales

Este tipo de detectores sirve para medir la tasa de dosis. Tal y como pudo comprobarse en la visita realizada al Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) de Francia, este tipo de sensores tiene mayor estabilidad, sensibilidad y precisión que las sondas Geiger-Müller (utilizados en la RAR y actual REA) con un coste similar, permitiendo detectar incrementos de radiación mucho más pequeños que otro tipo de instrumentos.<sup>3</sup>

<sup>2</sup> Este puerto es el nuevo estándar de comunicaciones para sondas de vigilancia radiológica.

<sup>3</sup> Ver foto de la página 5 del informe de referencia CSN/IAC714/1238.

Las dimensiones de este detector son pequeñas (del orden de 30 cm de largo) y su peso aproximado es de 2 kg, por lo que su instalación es muy sencilla.

Este tipo de detectores estarían instalados en las estaciones fijas de medición de tasa de dosis.

### Detectores compuestos

Estos detectores sirven, además, para medir la tasa de dosis en estaciones fijas o portátiles, combinando la respuesta rápida o sensible a bajas tasas de dosis con los valores altos de tasa de dosis. Este tipo de sensores utilizan detectores gamma de cristal de centelleo para bajas tasas de dosis (aproximadamente hasta 250 Sv/h) y detectores Geiger-Müller para tasas de dosis de hasta 10 Sv/h.

Su precio es similar a los contadores proporcionales con la configuración propuesta.

### Espectrómetros

Los espectrómetros permiten medir la tasa de dosis gamma y también identifican los isótopos causantes de este tipo de radiación. Los detectores más emple-

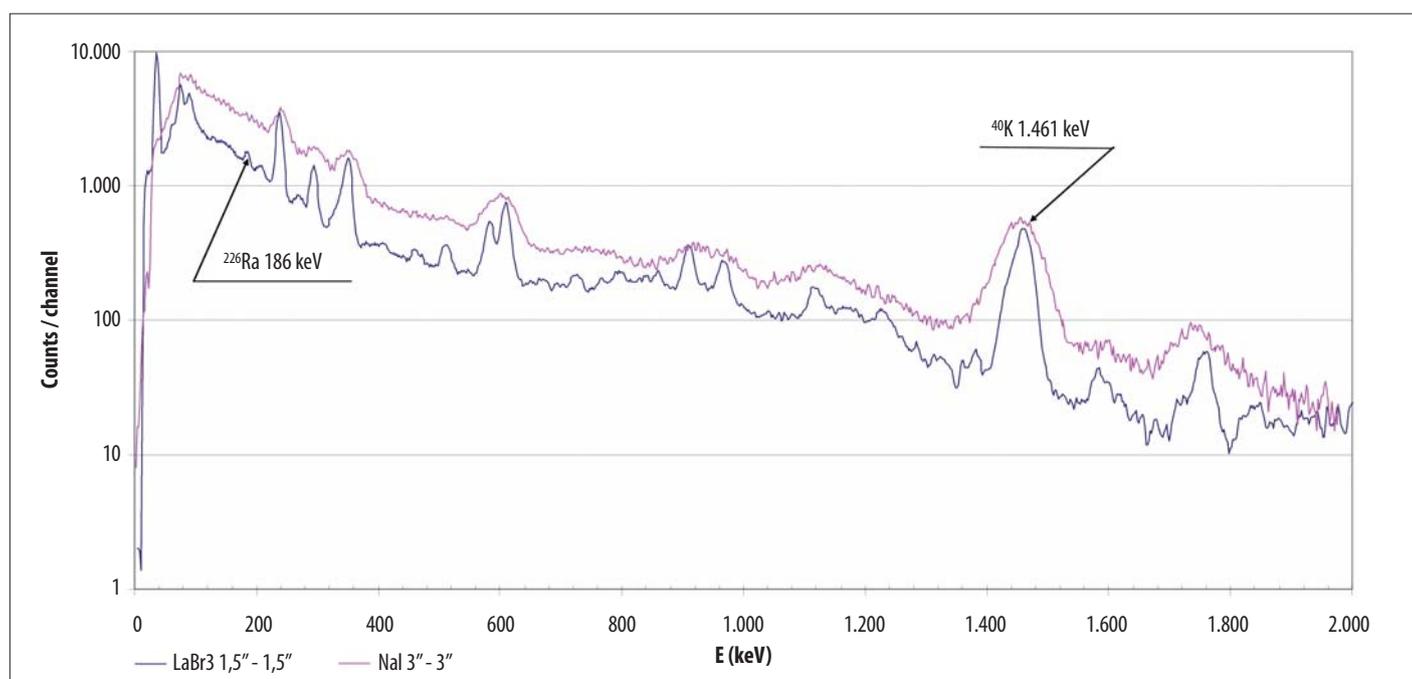
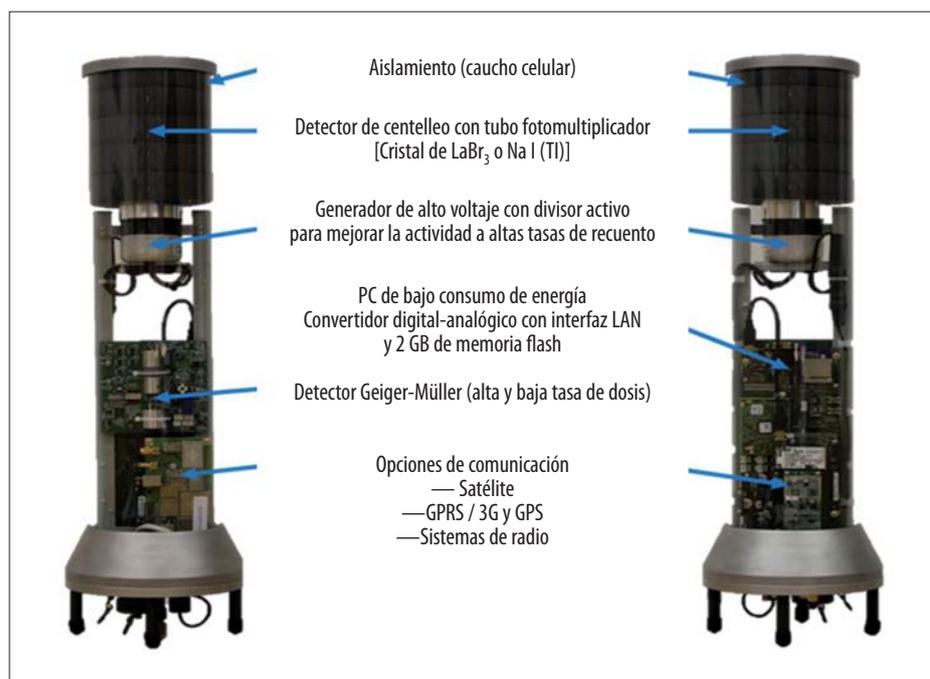


Tabla comparativa entre dos tipos de cristales.



El valor medio diario y mensual de la tasa de dosis gamma medida en cada una de las estaciones de la REA del CSN y de las comunidades autónomas se publica diariamente en la página web del CSN: <http://www.csn.es>. Nota: en el mapa solo se muestran las estaciones que miden tasa de dosis. Existen otras estaciones no representadas que no miden dicho parámetro.



Elementos de un detector espectrométrico de tarjeta.

ados para este tipo de medida son los llamados detectores de centelleo, porque llevan unos cristales que producen un centelleo cuando absorben radiación. Entre los cristales usados más comúnmente están los de ioduro de sodio (NaI) y de bromuro de lantano (LaBr<sub>3</sub>). La diferencia entre estos dos tipos de cristales es que el pico producido por un fotón es mucho más estrecho en un detector de LaBr<sub>3</sub> que en uno de NaI, sin embargo su precio es más elevado. Por otra parte el rango de medida de los detectores de LaBr<sub>3</sub> es mayor que el de NaI.

Como puede verse en el esquema de la página anterior, el equipo lleva incluida la tarjeta de comunicaciones que le permite transmitir directamente los datos de forma telemática.

Estos detectores para la medida directa en aire podrán situarse en las antiguas estaciones REA y en las zonas de planificación de las instalaciones nucleares. Sus dimensiones son pequeñas, del orden de 50 cm de largo y un peso aproximado de 5kg, por lo que su instalación es muy sencilla.



Toma de aire para la medida de concentración aerosoles ambientales (partículas alfa, beta y radiyodos) de una estación de la REA.

Los precios de este tipo de equipos varían mucho dependiendo del tipo y tamaño del cristal, así como de accesorios adicionales que puedan llevar internamente.

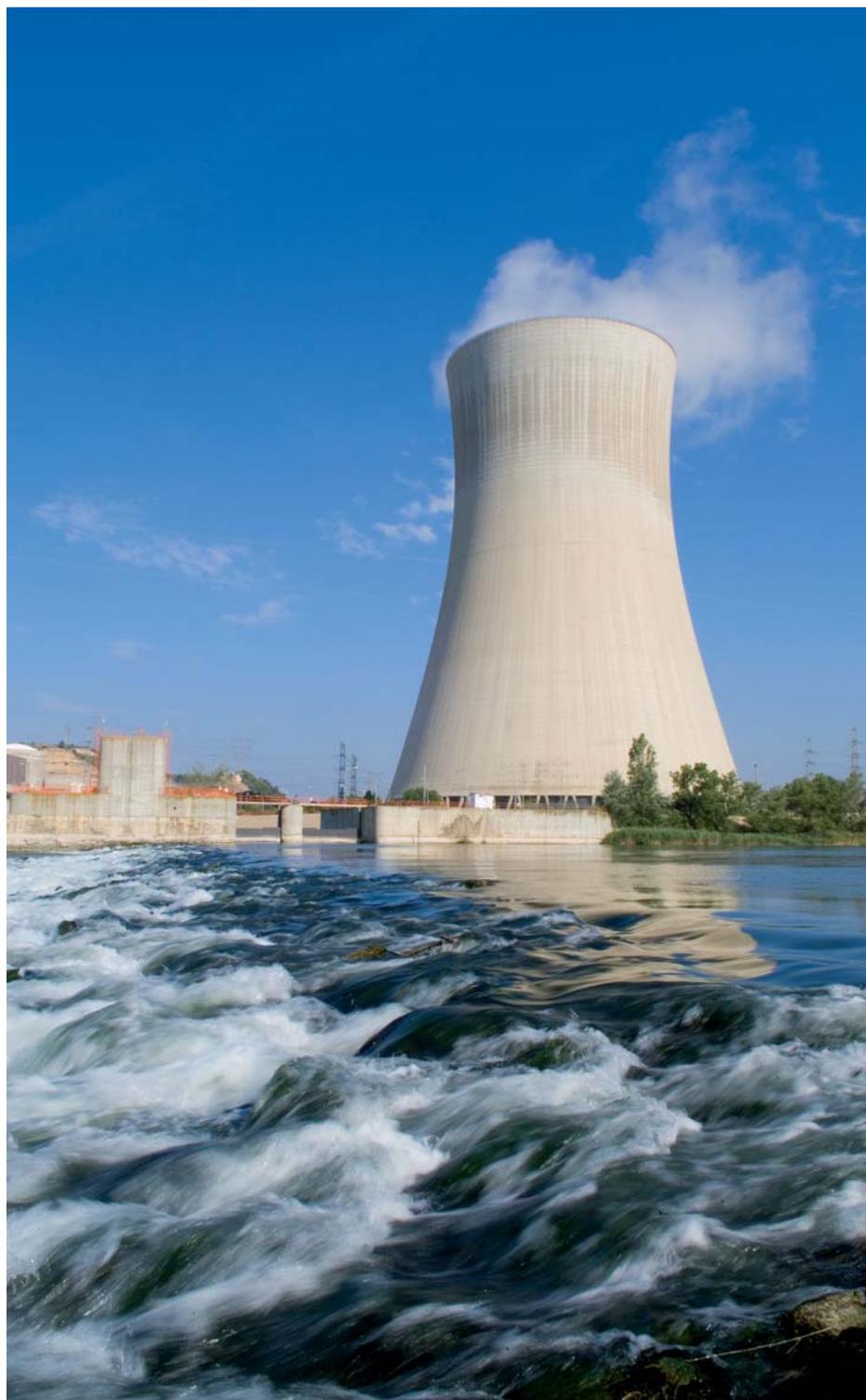
La elección del tipo de detector NaI o LaBr<sub>3</sub> dependerá de lo que se prime instalar: un mayor número de estaciones (NaI) o mayor resolución de los espectros obtenidos (LaBr<sub>3</sub>). Hay que tener en cuenta que el coste de los detectores de LaBr<sub>3</sub> es el doble que el de los de NaI.

### Equipos portátiles

Este tipo de equipos permiten medir las tasas de dosis en situaciones de accidente y están diseñados para ser colocados en cualquier lugar accesible sin ningún tipo de instalación (tanto de obra como de comunicación). Así se pueden obtener las lecturas de tasa de dosis en ambientes en los que se hayan perdido las comunicaciones y la energía eléctrica debido a catástrofes naturales. Dada su portabilidad, que hace que se puedan utilizar en diferentes lugares en distintos momentos, es necesario determinar con precisión su ubicación, por lo que estos equipos deben disponer además de sensores que determinen su posición exacta mediante GPS; además, deben estar equipados con una batería que les permita asegurar suficiente suministro de energía eléctrica, de forma independiente, durante al menos un año.

En cuanto a la capacidad para medir valores de tasa de dosis, esta debe llegar a valores cercanos a las decenas de Sievert por hora, ya que podrán situarse en zonas de alta tasa de radiación. Por ello, estos equipos deben contar con una doble sonda *Geiger-Müller* para valores de alta y baja tasa de dosis.

Para las 150 estaciones automáticas fijas de medida de tasa de dosis se proponen dos tipos distintos de detectores, teniendo en cuenta que en caso de un accidente nuclear las mayores tasas de do-



La vigilancia de la REA es especialmente intensa en el entorno de las instalaciones nucleares.

sis se registrarían en las zonas próximas a las plantas nucleares.

### Propuesta de detectores

Para la medida de tasa de dosis entre 0 y 15 km de las zonas de planificación defi-

nidas en los Planes de Emergencia Nuclear (PENBU, PENCA, PENGUA, PENTA y PENVA), se deberán situar detectores compuestos, ya que su rango de medida es mayor que el de los proporcionales. En el resto de estaciones que miden tasa de



Sonda con contador proporcional.



Equipo portátil de medida de tasa de dosis.

dosis se propone la instalación de detectores proporcionales, ya que tienen mayor estabilidad, sensibilidad y precisión que las sondas Geiger-Müller (utilizadas en la RAR y actual REA).

Se propone así mismo situar 24 espectrómetros en las zonas de planificación de las instalaciones nucleares, 4 por cada emplazamiento nuclear, situándolos a 90° y teniendo en cuenta la dirección preferente del viento. Además se incluye otro situado dentro del emplazamiento del ATC. Estos espectrómetros serán de cristal de centelleo de  $\text{LaBr}_3$ , ya que presentan mayor resolución espectral.

Los 25 espectrómetros restantes se distribuirían por todo el territorio nacional

instalándose donde están las actuales estaciones de la REA, y serán de cristal de centelleo de  $\text{NaI}$  o de  $\text{LaBr}_3$ . Se aprovecharán además las sondas Geiger-Müller de alta tasa de dosis que poseen las actuales estaciones de la REA.

### Software de gestión

El software deberá ser abierto, con lenguajes de programación estándares, sin patentes ni limitaciones de acceso a los códigos, para que cualquier entidad autorizada pueda efectuar desarrollos de mejora. Así mismo, el software deberá permitir la interrogación remota de datos de las estaciones con una visualización amigable y sencilla. La estructura deberá ser modular, y estará diseñado para cubrir todas las funciones de vigilancia radiológica ambiental continua y de alerta temprana.

### Programas de administración

El software tendrá capacidad para recoger, centralizar, analizar y supervisar los datos de las estaciones automáticas y de otros equipos radiológicos utilizados en emergencias, así como los datos meteorológicos recibidos de la Agencia Española de Meteorología (Aemet).

Dispondrá de capacidad de almacenamiento de diferentes tipos de datos, tanto continuos (de las estaciones automáticas) como discontinuos (equipos de detección autónomos, unidades móviles) y espectros durante un año. Almacenará los datos brutos de los espectros así como el resultado del análisis de actividad de isótopos. Tendrá conexión a una base de datos o módulo de base de datos permitiendo disponer de los que tenga almacenados. Dispondrá, además, de un sistema automático de validación de datos.

Cuando los valores de radiactividad excedan ciertos umbrales se activará automáticamente un sistema de alarmas que alertarán a los técnicos y responsa-

bles de la red a través de SMS y correo electrónico. El sistema identificará 3 tipos diferentes de alarmas: técnicas, radiológicas y de comunicaciones.

Tendrá implementado el acceso remoto a las estaciones para la gestión de incidencias, disminuyendo el coste por mantenimiento. También permitirá exportar datos a la plataforma EURDEP en el formato correspondiente, así como el intercambio de datos con otros sistemas por vía FTP o vía de acceso a base de datos. Deberá tener capacidad para exportar fácilmente datos a Excel y ser compatible con distintos sistemas de comunicaciones en paralelo: GSM, GPRS, ADSL, satélite, Radio/TETRA.

Tendrá capacidad para la presentación de datos en gráficas, listados, tablas y mapas. Al detectarse un pico de tasa de dosis gamma permitirá acceder directamente al correspondiente espectro pinchando en la gráfica. Tendrá capacidad para generar informes y realizar análisis estadísticos de los datos y podrá realizar un mapa con la calidad radiológica del territorio nacional.

### Comunicaciones

Las estaciones pertenecientes a la nueva red estarán en comunicación directa con el CSN, preferentemente por vía ADSL o sistemas de transmisión análogos (por ejemplo M2M). Si alguna estación no pudiera disponer de esta vía, se utilizarían sistemas alternativos como, por ejemplo, radiofrecuencias, telefonía móvil, etc. Además, se estudiará la posibilidad de disponer de otros sistemas de comunicación redundantes.

Por último, deberán operar durante las 24 horas del día de manera automática, realizando las llamadas para la recogida de datos, actualizándolos en los mapas, gráficas y listados, generando alarmas y enviando e-mail, SMS de alerta y generando automáticamente informes.





Un camión habilitado para el transporte de materiales radiactivos, en las cercanías de una central nuclear.

Una actividad debidamente regulada para evitar incidentes

## El transporte de materiales y residuos radiactivos en España

Para comprender el transporte de materiales y residuos radiactivos en España es preciso saber que estos materiales no solo se utilizan en las centrales nucleares; también tienen aplicaciones en el ámbito de la industria, la investigación y la medicina. La utilización de los mismos, en sus diferentes formatos, genera una serie de residuos radiactivos que deben ser tratados y transportados hasta las instalaciones dedicadas a su almacenamiento, donde deberán ser gestionados y catalogados. Las características de los embalajes, el etiquetado de los transportes, las rutas que siguen y los requisitos administrativos están también contemplados en la reglamentación, siempre diferenciados según la peligrosidad de los compuestos radiactivos. ■ Texto: **Lucía Caballero** | periodista científica ■

**A** finales del 2014, había en España 95 equipos de diagnóstico mediante técnicas de tomografía por emisión de positrones y otras 269 instalaciones radiactivas de uso médico, según datos del último informe anual del Consejo

de Seguridad Nuclear (CSN). Los hospitales, centros de salud y ambulatorios de especialidades médicas mantienen equipos que utilizan material radiactivo y deben gestionar la llegada del material y la retirada de sus residuos, así como las

dosis de radiofármacos de los pacientes, distribuidas por las unidades de radiofarmacia. Los movimientos de sustancias radiactivas en el sector de la medicina son por tanto una práctica cotidiana, con numerosos transportes diarios. Por eso, Fernando Zamora, jefe del Área de Transportes del CSN, asegura que “del orden del 95% de los transportes de material radiactivo que se realizan en España son ajenos a las instalaciones nucleares; tienen fundamentalmente una aplicación médica o industrial”.

Las instalaciones de investigación y numerosas industrias también requieren de la utilización de elementos radiactivos de estas sustancias, ya que tienen aplicaciones muy diversas, aunque con un volumen inferior, comparadas con las instalaciones médicas. De tal manera que todas ellas también generan residuos radiactivos. Debido a la cantidad, y a que se trata, en general, de radioisótopos de media o baja actividad, no necesitan embalajes muy especiales para su traslado ni complejos trámites administrativos, ya que el riesgo que entrañan es bajo.

Aun así, el transporte de cualquier tipo de material radiactivo, ya sean dosis destinadas a radioterapia, partidas de uso industrial, combustible para una central nuclear (con una vida media más larga) o residuos de diversa índole, está regulado por la misma normativa, que especifica los requisitos necesarios en función del riesgo.

La reglamentación no es exclusiva de las sustancias radiactivas, sino que se aplica a todo tipo de mercancías peligrosas que circulen por carretera, ferrocarril, barco o avión. En el primer caso, la norma a seguir es la establecida por el Real Decreto 97/2014. Las leyes en esta materia se basan en distintos acuerdos normativos internacionales, que recogen esencialmente los requisitos incluidos en el Reglamento para el Transporte Seguro de Materiales Radiactivos del

Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).

En el caso del combustible nuclear, su nocividad proviene de la misma propiedad que les convierte en útiles para generar electricidad: la facilidad que tienen sus núcleos atómicos de fisionarse desprendiendo radiación, con la consiguiente liberación de energía. “Si esto no se controla, no solo existe riesgo radiológico, sino también consecuencias derivadas de la enorme producción de energía en forma de calor”, asegura Zamora.

Aunque los requisitos engloban desde el control administrativo y operacional, al etiquetado y marcado de los embalajes y los vehículos, lo fundamental para garantizar la seguridad del transporte, según indica el responsable del CSN, es la caracterización del embalaje. Dicha caracterización viene predefinida por la reglamentación específica del componente, los requisitos de su diseño, las normas que ha de cumplir el expedidor de la mercancía y el expedidor del bulto —se denomina así al embalaje y su contenido— para su transporte; todo ello en función de la peligrosidad de la carga.

Los radioisótopos de muy baja actividad se alojan en recipientes “casi convencionales, a veces incluso utilizados para otros tipos de cargas”, denominados bultos exceptuados. Para los materiales radiactivos de media y baja actividad se utilizan generalmente bultos del tipo Industrial o tipo A. Los materiales de alta actividad se transportan en bultos de



Señalización que debe identificar a un transporte de material nuclear o radiactivo.

tipo B o C y los materiales nucleares (sustancias fisionables) necesitan contenedores que además de contener y blindar la radiactividad, garanticen que no se producirá un riesgo nuclear con gran liberación de energía, por lo que se emplean bultos para sustancias fisionables.

El objetivo de estos bultos es “evitar que en el caso de accidente grave se produzca una liberación del contenido inaceptable, un incremento de la radiación en el exterior, o una situación de riesgo nuclear”, explica Zamora. Gran parte del secreto está en su configuración geométrica, los sistemas de cierre y en el blindaje. Los materiales más utilizados para blindar el material radiactivo son el plomo y el acero —que además presenta gran resistencia mecánica a los golpes—, una

combinación de ambos y el tungsteno. Antes de comercializarlos, cada diseño es sometido por su fabricante a una serie de ensayos que prueban su resistencia mecánica, térmica y de inmersión en agua. “Simulan situaciones de accidente grave para comprobar su fiabilidad”.

Existen pocas empresas especializadas en la manufactura de embalajes para material radiactivo en España. La principal es la cántabra Equipos Nucleares (ENSA), que fabrica contenedores para combustible nuclear gastado y, además, componentes que se utilizan en instalaciones nucleares. No existen prácticamente fabricantes de embalajes para otros materiales radiactivos.

Durante todo el proceso, desde el embalaje al transporte, pueden requerirse



Los bultos de tipo A se utilizan para residuos de baja y media actividad y los de tipo B para los de alta.

diferentes licencias, entre las que se incluyen las aprobaciones de diseño de bultos de transporte y autorizaciones de transporte, autorizaciones de protección física y de traslados de residuos radiactivos.

“La mayor parte del material radiactivo que se utiliza en este país, principalmente con aplicación médica, se importa del extranjero y viene ya embalado de origen”, indica Zamora. Por eso, cuando la aprobación del diseño es necesaria en España se realiza normalmente mediante convalidación de los certificados de origen. El CSN estudia el documento otorgado por la autoridad reguladora del territorio de procedencia y el estudio de seguridad del diseño del bulto.

La carga destinada a medicina e investigación suele transportarse en avión desde el extranjero, y tiene principalmente origen europeo (Reino Unido, Holanda, Bélgica, Alemania, Francia), aunque algunas partidas vienen de Estados Unidos.

El responsable del CSN explica el siguiente paso: “Al aeropuerto va una empresa de transporte contratada, que reparte el material entre las instalaciones usuarias”. Aunque se trate de grandes remesas, se suelen transportar en bultos pequeños que se cargan y descargan manualmente.

Al ser pocas las empresas y trabajadores que gestionan estos movimientos, el CSN considera su actividad como una prioridad en sus inspecciones para que los procedimientos aplicados por transportistas, suministradores y receptores sean adecuados. El objetivo es también mejorarlos, para reducir al máximo las dosis a las que está sometido el personal de transporte.

Los movimientos se realizan en vehículos pequeños, tipo furgoneta de reparto, sin requisitos especiales más allá de su correcto etiquetado y señalización, “como cualquier otro vehículo que lleva mercancía peligrosa”, dice Zamora.



Acondicionamiento de residuos de pequeños productores para su transporte.



Retirada de una fuente de cobalto en Oviedo.

Deben llevar las advertencias en los laterales y la parte trasera; la señalización incluye el símbolo de la radiactividad: un trébol negro. “En general, se cree que para transportar material radiactivo hacen falta vehículos adaptados, pero cuan-

do se utilizan es por el peso, no por el riesgo”, continúa.

Las etiquetas, las medidas de control de operaciones y la formación de los conductores son medidas de seguridad complementaria a los embalajes.

En el sector médico, los residuos son mayoritariamente de baja actividad, ya que la radiactividad de los isótopos que se utilizan decae rápidamente durante su uso. Tanto en esta área, como en investigación, este tipo de residuos se almacenan en la misma instalación hasta que dejan de suponer un riesgo.

Por su parte, los remanentes con una vida más larga, procedentes de equipamientos industriales, de investigación, médicos y nucleares son gestionados por

la Empresa Nacional de Residuos Radioactivos (Enresa).

En el terreno industrial, las principales aplicaciones de los elementos radiactivos están dirigidas al control de procesos; por ejemplo, los haces de radiación sirven para comprobar parámetros de diseño en la de fabricación de recipientes, en la industria papelera, en radiografía industrial (para detectar fisuras en soldaduras) y en la medición de espesores en materiales como

el acero y el aluminio, entre otras posibilidades.

Los residuos generados en estas aplicaciones se denominan fuentes radiactivas agotadas. “La mayoría regresan al país de origen, un criterio que se aplica en casi todos los territorios; se devuelven al suministrador”, señala Zamora. No obstante, a veces surgen problemas con el proceso: puede que el suministrador o fabricante ya no esté en activo. Si es así, la gestión corre de nuevo a cargo de Enresa.

“Los residuos de media y baja actividad se transportan a sus instalaciones de El Cabril, en Córdoba”, indica Zamora. Los de alta actividad, generados en las centrales nucleares, se almacenan actualmente en sus propias instalaciones. Cuando se construya el Almacén Temporal Centralizado de residuos radiactivos en



## Estadística de incidencias

“En España no ha habido ningún accidente importante donde estuviese implicado material nuclear o radiactivo”, asegura Fernando Zamora, jefe de Área de Transportes del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). En 2014, según el último informe de actividad de la institución, se produjeron cinco incidencias en el transporte de material radiactivo, pero ninguna con consecuencias radiológicas para las personas o el medio ambiente.

Todos estos sucesos se han clasificado, de acuerdo con el manual de la Escala Internacional de Sucesos Nucleares y Radiológicos, como de nivel 0 o fuera de escala, es decir, carentes de importancia en términos de seguridad. Dos de ellos fueron accidentes en carretera, sin que se produjeran daños en la carga, y otros tuvieron algún percance durante los procesos de carga.

En 1985, el Organismo Internacional de Energía Atómica de las Naciones Unidas estimaba que se transportaban cada año más de 10 millones de bultos que contenían materiales radiactivos.

Según estudios realizados por las autoridades reguladoras, entre 1971 y 1996 se registraron en Estados Unidos 58 incidentes, y en Reino Unido, un total de 786 desde 1958, en su mayoría sin consecuencias radiológicas significativas. En 1984, colisionaban cerca de la costa belga el transbordador holandés Olau Britannia y el carguero francés Mont-Louis, que transportaba 450 toneladas de hexafluoruro de uranio a la Unión Soviética. Este producto, altamente corrosivo, se utiliza en el proceso de fabricación de uranio enriquecido.

Actualmente, el hexafluoruro de uranio se transporta en embalajes que, además de contar con los requisitos habituales, tienen que cumplir con la norma industrial ISO-7195 y pasar los exámenes que aseguran que no existen posibles pérdidas de contenido. Además, si está clasificado como fisionable, el bulto tiene que ajustarse a las características especiales previstas en la reglamentación.

La estadística actual en España “no pasa de las cuatro o cinco incidencias anuales”, indica Zamora. El accidente típico, según el responsable, es un percance en carretera durante el transporte de radiofármacos, en el que la carga no sufre daños. “El número de sucesos es muy bajo frente a las decenas de miles de transportes que se llevan a cabo anualmente en España”, añade.

Villar de Cañas (Cuenca), se trasladarán al complejo.

Los profesionales que se sientan al volante de los vehículos que transportan materiales radiactivos y nucleares (consideradas mercancías peligrosas) tienen que llevar consigo la carta de porte y el certificado de la formación exigible al conductor, que además debe actualizar periódicamente.

Para que las empresas fijen los itinerarios, existe un mapa elaborado por la Dirección General de Tráfico (DGT) don-

instalaciones. No obstante, una parte de este combustible es importada: a diferencia de las pequeñas cantidades de aplicación médica o en investigación, “nunca se transporta en avión; siempre llega por vía marítima y carretera”, advierte Zamora.

“Las fuerzas de seguridad del Estado están informadas de todos estos transportes y deciden su procedimiento de protección y escolta. El Consejo no interviene en esa decisión”, añade.

Existen controles rutinarios sobre la actividad de transporte e inspecciones

das con el transporte, 22 por parte de su propio personal y 52 por inspectores de las distintas comunidades autónomas con las que el CSN dispone de Acuerdo de Encomienda. El Consejo recibe, además, notificaciones específicas requeridas para el transporte de materiales fisionables, fuentes radiactivas de alta actividad y residuos, así como informes posteriores del proceso. El año pasado, el CSN no tuvo que abrir ningún expediente sancionador a titulares de empresas de transportes de material radiactivo.

En el caso de accidente de material radiactivo, se aplica, al menos en primera instancia, el marco global fijado para las mercancías peligrosas. “Los servicios de actuación inmediata, como son la intervención de personal sanitario, bomberos y policías, es la misma que en otros tipos de mercancías peligrosas”, señala Zamora. Protección Civil sería el responsable de las actuaciones en el caso de un accidente radiológico grave. Si considerase que las medidas convencionales no son suficientes, y que fuese necesaria la intervención de expertos en protección radiológica, solicitaría el apoyo del CSN.

Para cubrir los posibles percances ocurridos durante los movimientos, las instalaciones nucleares y radiactivas están obligadas, además, a tener un seguro, denominado Cobertura de Riesgos Nucleares, cuya cantidad depende del tipo de material transportado. “Si hay un accidente en el que se produce un daño radiológico de personas que están al margen de la operación (de un tercero), el seguro respalda la primera respuesta para compensar ese perjuicio”, indica Zamora. El damnificado puede luego exigir una suma mayor, pero el seguro constituye el respaldo económico inicial. Cada parte del proceso, desde la recogida en origen del material hasta su entrega, está diseñada para minimizar los riesgos para los trabajadores y sociedad en general. ©

ENRESA



Transporte de un contenedor para almacenamiento de combustible en seco.

de se especifican las rutas a seguir para transportar cualquier mercancía peligrosa. En él, aparecen las carreteras mejor acondicionadas y seguras (esencialmente autovías y autopistas) para trayectos largos, y las necesarias para acceder a los recintos. Por otro lado, la DGT avisa de las restricciones de tráfico por horas o debidas a los días festivos.

En España, el transporte de elementos combustibles para las centrales nucleares se produce desde la planta de fabricación de combustible nuclear, situada en Juzbado (Salamanca), al resto de

realizadas a algunas expediciones de mayor riesgo y frecuencia. También se llevan a cabo inspecciones a las instalaciones expedidoras (centrales nucleares e instalaciones radiactivas) y a las empresas de transporte para vigilar la gestión del proceso.

En 2014, se produjeron 229 expediciones de residuos radiactivos dirigidas a la instalación de Enresa en El Cabril; 188 procedentes de instalaciones nucleares y 41 de instalaciones radiactivas y 67 envíos de material fisionable. En el mismo año, el CSN realizó 74 inspecciones relaciona-

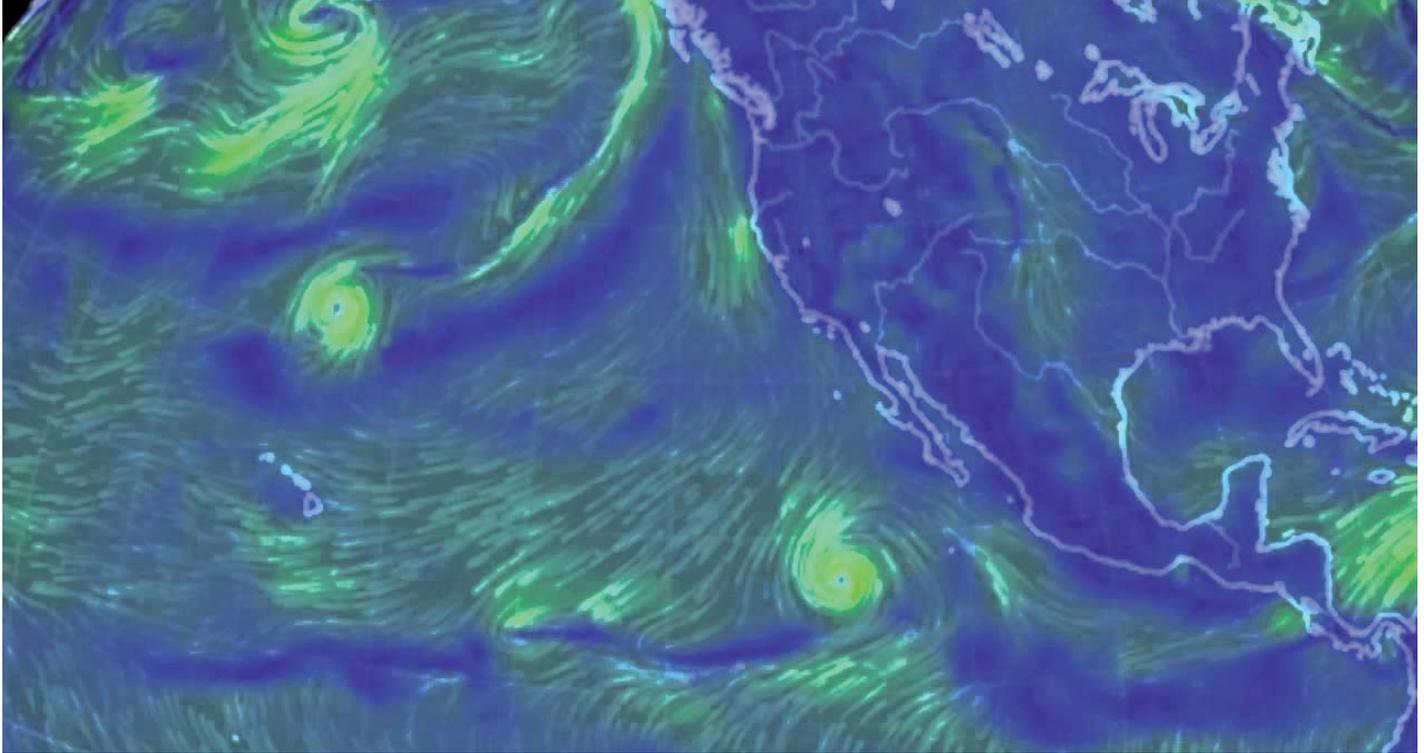


Imagen que muestra la corriente de El Niño, asociada a procesos de sequía en América.

Cientos de satélites vigilan desde el espacio las constantes ambientales de nuestro planeta

## Los centinelas de la Tierra

La sociedad actual, con su creciente presión demográfica, se enfrenta a numerosas amenazas globales, desde el cambio en el clima a la incipiente crisis energética o la inquietante frecuencia de los desastres naturales. Las imágenes de nuestro planeta se adquieren de forma continua y se han convertido en una poderosa herramienta para una mejor comprensión de la Tierra, sus recursos, su belleza, su sufrimiento, y las posibles acciones para mitigarlo.

Los centros de investigación y multitud de empresas privadas están poniendo en órbita constelaciones de satélites cada vez más precisos, incómodos testigos de los destrozos que los humanos infligimos al planeta. Como centinelas, ponen de relieve nuestras miserias y nuestras grandezas y nuestra absoluta insignificancia ante los fenómenos naturales que, como zarpa-zos, de cuando en cuando nos devuelve la Tierra. ■

Texto: **Eugenia Angulo** | periodista científica ■

“¡Que se cubra de negro el cielo! ¡Que el día se haga noche!” pedía Shakespeare en palabras del Duque de Bedford, regente de Francia, en la apertura de su obra *Enrique VI*. Y así se hizo en 2010, pero no por la muerte de un rey sino por la erupción de un volcán islandés de nombre ciertamente difícil: Eyjafjallajökull, de la combinación de las palabras isla, montaña y glaciar.

Como pedía Shakespeare, la nube de cenizas del Eyjafjallajökull hizo la noche

en Europa que sufrió una de las alteraciones más importantes en su tráfico aéreo desde la Segunda Guerra Mundial. Millones de pasajeros quedaron atrapados en aeropuertos, bien colapsados o bien extrañamente vacíos; hasta la armada británica tuvo que movilizar sus buques para transportar a los perplejos viajeros. Obvia decir que la parálisis aérea trajo consigo a su fiel amigo el caos económico: pérdidas diarias de unos 200 millones de dólares, según estimó la Aso-

ciación Internacional de Transporte Aéreo y bajada en bolsa de las principales aerolíneas europeas.

Indiferentes al jaleo terrestre, varios testigos siguieron el movimiento de la nube de ceniza y polvo cruzando el mar del Norte hasta las costas de Irlanda y Reino Unido para después envolver el continente. El satélite Meteosat-9, por ejemplo, de la Organización Europea para la Explotación de Satélites Meteorológicos, tomó continuas imágenes que resultaron

## De lejos se ve más claro

El 7 de marzo de 1947, poco después del final de la Segunda Guerra Mundial y casi diez años antes del lanzamiento del Sputnik ruso, un grupo de científicos civiles y militares que trabajaban en la base de White Sands, en el desierto de Nuevo México, vio algo completamente nuevo y, al mismo tiempo, ciertamente familiar: las primeras imágenes de la Tierra vista desde el espacio.

En ellas, bastante borrosas, en blanco y negro y con muchísimo grano, pueden identificarse México, el Golfo de California, el río Colorado, Baja California, el Océano Pacífico y hasta la ciudad de Albuquerque, en el estado de Nuevo México. Tienen un aire nostálgico que recuerda a las primeras películas del francés Georges Méliès y su Viaje a la Luna. Y si las películas de Méliès marcaron el principio del cine, estas fotografías revelaron un mundo de posibilidades:

fundamentales para Eurocontrol, la autoridad de seguridad aérea. Teniendo en cuenta que cerca de 500 aeropuertos en todo el mundo respiran a menos de 100 kilómetros de volcanes que han entrado en erupción al menos una vez desde 1900, la monitorización de estos gigantes geológicos es una de las muchas necesidades que las tecnologías de observación de la Tierra cubren desde el espacio mediante imágenes por satélite.

Éstas se basan en un principio tan básico como filosófico: ampliar la limitada visión humana sobre nuestro propio mundo y sobre nuestra especie. El conocimiento humano se ha extendido mucho más allá de los límites de nuestro delicado rincón del Universo, pero algunas de las preguntas que la humanidad enfrenta hoy siguen centradas en torno a la Tierra y a nuestra relación con ella: una población que no deja de crecer y que demanda espacios seguros para vivir, agua dulce, tierra fértil, alimento en la mesa y aire limpio y los satélites se han convertido en sus mejores observadores; impasibles desde su pri-

ampliar la limitada visión humana sobre su propio mundo. Bajo ambas iniciativas latían los comienzos de algo nuevo.

Las imágenes fueron tomadas a bordo de cohetes alemanes V-2 que después de la Segunda Guerra Mundial fueron transportados desde Alemania a Estados Unidos. El físico John T. Mengel, que más tarde sería uno de los primeros empleados de la NASA, lideró el equipo encargado de experimentar con los V-2: sustituyó las ojivas por dos cámaras fotográficas aéreas y se dedicó a lanzarlos a alturas cada vez superiores, hasta los 160 kilómetros.

Antes que estas, que eran las imágenes de la superficie de la Tierra tomadas desde mayor altitud hasta entonces, ya existían las realizadas por el globo Explorer II, que en 1935 ascendió hasta una altitud de unos 22 kilómetros, lo suficiente como para apreciar la curvatura de la Tierra. Las cámaras de los V-2 llegaron a una altura más de cinco veces mayor. Cuando se unen todos los fotogramas del carrete, las panorámicas



Emilio Chuvieco, catedrático de Geografía.

vilegiado espacio ultraterrestre, pero siempre despiertos.

Satélite, la escolta que rodeaba al rey. Del latín *satelles*, *satellit*. Al parecer, el escritor de ciencia ficción Arthur C. Clarke decidió no patentar su idea de un artilugio volador dando vueltas alrededor de la Tierra porque jamás pensó que podría llegar a construirse. Como la predicción es un arte volátil, el lanzamiento del Sputnik-1 en plena Guerra Fría demostró lo contrario y desde entonces, miles de estos aparatos se han puesto en los cielos, alrededor de los cuales 1.300 permanecen

activos. En la próxima década, se prevé que el número va a duplicarse por la simple razón de que pocas tecnologías están tan enlazadas con nuestro interconectado, acelerado e impaciente siglo XXI. Las telecomunicaciones, los sistemas de navegación como el GPS y la teledetección u observación de la Tierra desde el espacio nos han permitido pasar de las familiares imágenes sin mucho detalle del tiempo en los telediarios a la precisión que cualquiera puede tener a mano con un simple click en Google Earth.

Desde la tranquilidad de su ojo espacial, una sola imagen de satélite tiene hoy el potencial para mostrar el obstinado avance de la deforestación del Amazonas, el lamento de los hielos derriéndose, la furia de un huracán, el inquietante aumento anual del nivel del mar, la expansión de las ciudades, las heridas que deja un terremoto, un incendio forestal, la propagación de la contaminación del aire a través de un continente o los movimientos de ejércitos en las fronteras. Como explica Carlos Fernández de la Peña, vicepresidente de ventas de

tomadas a finales de los años 40 del pasado siglo cubren casi dos millones de kilómetros cuadrados terrestres que pueden apreciarse en un solo vistazo.

Pero la fotografía más famosa de la Tierra es “la canica azul”. Fue tomada en 1972 por la tripulación del Apolo 17 a una distancia de unos 45.000 kilómetros: “Fue un momento histórico para la humanidad. Es cuando uno descubre que no es más que un puntito en el espacio, uno más al nivel del resto”, recuerda Fernández de la Peña.

Estas primeras imágenes de la Tierra vista desde el espacio se convirtieron en símbolos de la era espacial y despertaron el interés sobre nuestro delicado rincón del Universo. Las agencias espaciales, como la NASA estadounidense o la Agencia Europea del Espacio (ESA, por sus siglas en inglés), enfocaron sus objetivos hacia un planeta a la vez desconocido y extrañamente familiar, la Tierra, y pusieron en órbita los primeros satélites de observación, en general con objetivos meteorológicos.

“Las primeras imágenes civiles tenían muy poca resolu-

ción espacial abarcando grandes territorios pero con poco nivel de detalle. A raíz de las fotografías espaciales, de las misiones tripuladas, empezó a verse que tenían también mucho interés para otro tipo de aplicaciones: mineras, gestión de recursos naturales, áreas urbanas... Cada vez la tendencia fue a hacer más detalladas las imágenes, con mayor resolución espacial. Conseguir estas imágenes de un altísimo nivel de detalle, que casi todo el mundo conoce a través de Google Earth, por ejemplo, ha sido una gran revolución”, explica Emilio Chuvieco, catedrático de Geografía de la Universidad de Alcalá donde coordina el Grupo de Investigación en Teledetección Ambiental.

A principios de los 80, la NASA puso en marcha su programa de observación terrestre: Misión al planeta Tierra, a base de la experiencia con los satélites Nimbus —del latín, nube—, uno de los cuales, el Nimbus 7, detectó concentraciones de ozono excepcionalmente bajas en algunas capas de la estratosfera. ▸

Deimos Imaging para Latinoamérica, España y Portugal (empresa española propietaria de dos satélites de teledetección), “ver un suceso natural desde el espacio es verlo en toda su magnitud”.

Y es que la distancia es un concepto curioso. Las imágenes espaciales dan una visión del mundo tan única que fenómenos a gran escala, como el derretimiento de los polos, pueden observarse con una precisión y amplitud tales que si se intentasen ver desde la Tierra necesitarían un ejército de observadores posicionados en el mismo punto durante varios años.

“El satélite proporciona una visión global y datos de variables que son difíciles de medir por otros medios. Nos permite hacer un seguimiento del impacto real que tienen algunos procesos ambientales, como la capa de ozono y la variación de la altura del agua del mar, que se hace con altímetros-radar y que permiten medir cómo está evolucionando la superficie marina, asociada al cambio climático”, explica Emilio Chuvieco, catedrático de Geografía de la Universidad de Alcalá donde coordina el Grupo de Investigación en Te-

ledetección Ambiental. Chuvieco es el geógrafo español más citado internacionalmente y su libro “*Teledetección ambiental: La observación de la tierra desde el espacio*”, la referencia para todo aquel que quiera aprender los entresijos de la observación remota de la superficie terrestre.

Los satélites también permiten acceder a zonas remotas, como las selvas tropicales, a las que paradójicamente no se puede acceder de otra forma que estando lejos, y a zonas demasiado peligrosas.

Imágenes tomadas este verano por uno de los satélites de Deimos Imaging confirmaron la destrucción del Templo de Bel, el más emblemático de Siria, a manos del Estado Islámico.

### La tercera revolución

Amanece en la plaza de Tiananmen y 12.000 soldados, cientos de tanques, misiles y aviones recorren el corazón de la capital china. El mayor desfile militar de la historia del país conmemoró el pasa-



Imagen que muestra la deforestación sufrida por los bosques tropicales de Tailandia.



De izquierda a derecha, imágenes obtenidas mediante teledetección desde satélite de incendios forestales, la Antártida y erupción volcánica de El Hierro.

do septiembre el 70 aniversario del fin de la Segunda Guerra Mundial y fue seguido por el ojo del satélite Deimos 2. Su corazón metálico evitó que se pusiera nervioso ante tal demostración de fuerza del ejército más numeroso del mundo.

“El mundo del espacio ha vivido tres revoluciones. La primera ha sido la de las comunicaciones por satélite, basadas en satélites geoestacionarios que están muy lejos, a 36.500 km de la Tierra, y que son muy caros y sofisticados. Otra es la navegación, como el GPS, que está formada por constelaciones muy numerosas de satélites situadas a unos 20.000 kilómetros, que sirven para posicionar objetos sobre la Tierra y que también han tenido un gran éxito. La tercera es la teledetección. Son satélites generalmente en órbita baja, por debajo de 1.000 km, que están tan próximos a la Tierra para poder fotografiarla desde cerca. Los satélites geoestacionarios como los de Meteosat envían imágenes sin mucho detalle, ves todo el misterio de golpe. Con los nuestros ves un trocito pequeño de la Tierra y vas, digamos, pasando por encima de ella tomando imágenes diversas, más cerca, así que puedes ver más detalle aunque menos parte”, explica Fernández de la Peña.

Según el Comité sobre Satélites de Observación de la Tierra, en estos momentos hay 131 misiones activas de agencias

del espacio de Europa, Estados Unidos, Japón, Brasil, India, China... que en número de satélites supone alrededor de 1.300 (y diez veces más basura espacial: unos 13.000 objetos, sin ninguna utilidad, orbitando la Tierra). Entre ese millar largo de satélites algunos tienen bandera española, como Deimos 1 y Deimos 2. Su propietario es la empresa Deimos Imaging que hace pocos meses pasó a formar parte del grupo canadiense *Urthe Cast Corporation*. Con ellos, poseen dos sensores más instalados en la Estación Espacial Internacional: Iris, que graba en vídeo, y otra cámara que hace imágenes de media resolución, llamado Theia.

Deimos fue la primera empresa en tomar imágenes de la central nuclear de Fukushima tras el tsunami que asoló la costa oriental de Japón en 2011. “Cuan-



Carlos Fernández de la Peña, de Deimos Imaging.

do hay un desastre natural relevante se activa un protocolo por el cual las compañías que tenemos satélites damos datos gratis para que el que ha sufrido la catástrofe pueda utilizarlos. “En ellas se ve perfectamente cómo se rompió el dique de contención”, cuenta este físico dedicado al espacio. También son famosas sus fotografías del Océano Atlántico convertido en una paleta de azules y verdes tras la erupción del volcán submarino de la Isla del Hierro.

Deimos 1 es un satélite de media resolución capaz de tomar imágenes con tamaño de píxel de 22 metros: cada píxel representa un área de 22 por 22 metros. La acción de un satélite podría compararse, si se permite la exageración, con encender una bombilla para iluminar la Tierra, salvo que el foco de luz estaría a cientos de kilómetros de la superficie y el área iluminada ocuparía millones de kilómetros cuadrados de planeta. El ancho de barrido (*swath* en la jerga científica) de Deimos 1 es de 650 kilómetros, casi la Península Ibérica en una sola imagen. Al día, es capaz de fotografiar unos 5 millones de kilómetros cuadrados.

Convendría aquí aclarar, en primer lugar, que un satélite de teledetección es, de forma general, un artillugio con dos partes: el segmento de vuelo que es lo que hace que orbite, es decir, que lo mantiene bien orientado y posicionado, y el



A la izquierda, imagen de satélite del accidente de la central nuclear de Fukushima en Japón y de la plaza de Tiananmén en Pekín.

llamado *payload*, la carga de pago, que son los instrumentos de medida. Para la observación de la Tierra, suelen utilizarse radares y sistemas ópticos, telescopios. Cada amanecer, la superficie de la Tierra se inunda de energía solar, parte de la cual absorbe y parte refleja de vuelta al espacio. La teledetección viene del vocablo inglés *remote sensing* y se encarga de medir y procesar esta energía reflejada. Y en segundo lugar, conviene precisar que los instrumentos ópticos del satélite registran varias longitudes de onda de esta energía, incluyendo la luz visible y otras bandas invisibles al ojo humano, como la infrarroja. Es decir, son ojos con distinta capacidad para ver y hacer súper fotografías. El número de bandas que puede percibir es su resolución espectral, y cuanto más alta, mejor caracteriza los materiales. En ese caso el sensor se llama multiespectral aunque existen satélites aún más sofisticados que son hiperspectrales y pueden medir más de 200 bandas.

Cada banda aporta un tipo de información. “El infrarrojo cercano es muy útil para detectar las posibles enfermedades que pueden afectar a un cultivo o para evaluar el rendimiento de cosechas, por ejemplo. En el infrarrojo medio se pueden detectar incendios u otros focos de calor, erupciones volcánicas, centrales térmicas... Con el térmico se evalúa el consumo de agua, la evaporación, el flujo de co-

rrientes oceánicas y el movimiento de los bloques de hielo. En microondas, se puede trabajar tanto con temas de humedad como de espesor del hielo, movimiento de glaciares...”, explica Chuvieco.

Salvadas estas cuestiones, volvamos al espacio. Deimos 1 toma imágenes en la banda visible roja y verde y también en el infrarrojo cercano. Sus imágenes se utilizan sobre todo en agricultura y emergencias y uno de sus clientes es el Departamento de Agricultura Estadounidense, que hace una imagen quincenal de su país para estimar el estado de salud de sus cosechas.

Su hermano Deimos 2 es más moderno. Es uno de los pocos satélites en el mundo, menos de una docena, de muy alta resolución, de manera que puede ver estructuras humanas con mucha claridad: fronteras, valles, coches... Su ancho de barrido es de 12 km y es multiespectral: registra el rojo, verde, azul, IR cercano y pancromático. Se usa en defensa y seguridad, aunque también en medio ambiente y agricultura cuando lo que se quiere observar es pequeño; por ejemplo, un olivo o un tronco de vid, casi de forma individual, para estudiar la cosecha.

### Amanece en la Tierra

El grupo de Chuvieco en la Universidad de Alcalá es de lo más variado. En él conviven varios geógrafos, dos licenciados en

ciencias ambientales, una ingeniera de telecomunicaciones, un biólogo, un ingeniero forestal y una ingeniera ambiental, lo que refleja la famosa *transversalidad* de la ciencia actual. El grupo se centra en el ámbito de los incendios forestales, “como determinar las condiciones de riesgo de incendio a partir de analizar el contenido de agua de la vegetación o la cantidad de vegetación disponible para la evaluación posterior a los fuegos. Es decir, una vez que se ha quemado, analizar la superficie que ha sido afectada por el fuego, los niveles de daño que ha tenido, etc.”, explica el investigador.

Chuvieco también coordina un proyecto internacional que financia la Agencia Europea del Espacio (ESA, por sus siglas inglesas) para cartografiar áreas quemadas en todo el planeta. Este proyecto es parte del programa Iniciativa de Cambio Climático, que se basa en la definición que hizo la Organización Meteorológica Mundial sobre variables climáticas esenciales. De ellas, la ESA escogió 13 y creó otros tantos proyectos paralelos, uno de los cuales coordina Chuvieco. “Cada proyecto se encarga de una variable y las hay atmosféricas, como la detección de gases de efecto invernadero, nubes, ozono...; oceanográficas, como las temperaturas del agua del mar, el color del océano y su altura; y otras terrestres, como la cobertura del suelo y la

## La mirada de Europa

Europa lanzó en 1977 su primer satélite meteorológico, Meteosat-1, construido por Aerospaciale, empresa precursora de Airbus, *Defense and Space*, y unos años más tarde, los gemelos ERS-1 y ERS-2, los primeros satélites europeos de teledetección ambiental. En 2002, un Ariane 5 puso en órbita el ENVISAT, el satélite de observación de la Tierra más grande y complejo de la época. Estos éxitos condujeron a la aprobación en 1998 del proyecto GMES de monitorización a escala global para el medio ambiente y la seguridad que ahora se ha convertido en el programa Copérnico. Se trata del programa de la Unión Europea de observación y monitorización de la Tierra. Su presupuesto es de 7.500 millones de euros lo que le convierte en el mayor sistema civil del mundo dedicado a observar la Tierra, y uno de los buques insignia de la ESA junto a Galileo, su sistema de posicionamiento por satélite. Según Elzbieta Bienkowska, comisaria europea de Mercado Interior, Industria, Emprendimiento y Pymes, "Copérnico aportará gratuitamente un volumen de datos sin precedentes, ofrecerá nuevos servicios operativos e im-

pulsará las actividades comerciales novedosas y la creación de empleo".

El programa se alimenta de los datos de la familia de satélites Sentinel, de los cuales Sentinel 1A y Sentinel 2A ya están en órbita a la espera del lanzamiento, en pocos meses, de Sentinel 3A. En la construcción de estos nuevos centinelas han participado más de 60 empresas, entre ellas, algunas españolas, como Thales, Alenia, Crisa y Senner. También cuenta con lo que llaman misiones participantes, satélites operados por terceros países y proveedores comerciales, donde, entre otros, contribuyen también Deimos 1 y Deimos 2. La idea de la ESA es poner en órbita una constelación de más de una docena de satélites en los próximos diez años.

Los Sentinel 1 estudian la Tierra con un sistema de radar, una tecnología que permite la observación incluso cuando las nubes o la oscuridad de la noche cubren la superficie terrestre. Los Sentinel 2 se centran en el estudio de las prácticas agrícolas y forestales, monitorización de bosques, usos del suelo, cambios en la cubierta vegetal, contenido de agua... Los Sentinel 3 conforman una misión diseñada para estudiar la topografía terrestre y las tem-

cantidad de hielo continental", explica. El proyecto comenzó en 2010 y de momento han acabado la primera fase, en la que han desarrollado un prototipo de algoritmo que generó áreas quemadas para todo el planeta durante tres años, y acaban de empezar la segunda fase, que durará otros tres años.

Las imágenes por satélite con las que trabajan provienen de servidores de internet en los que los investigadores pueden descargarse las imágenes libremente, como, por ejemplo, los de la NASA, el Servicio Geológico de Estados Unidos y el programa europeo Copérnico.

### 3, 2, 1

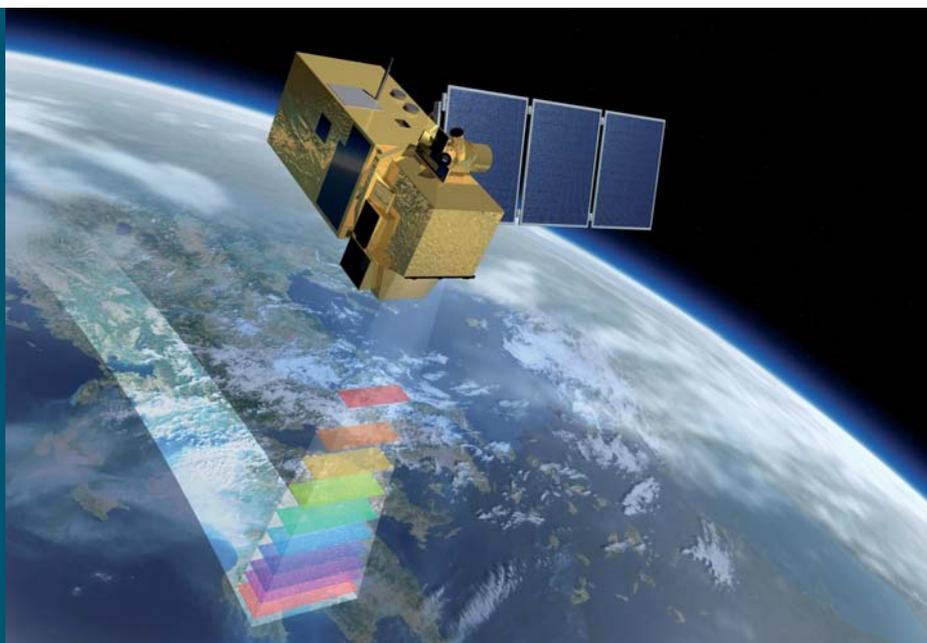
El aeródromo de Baikonur, en Kazajistán, es la instalación de lanzamiento espacial más antigua del mundo y una de las más activas. Desde allí subió a los cielos Deimos 1 en 2009. Deimos 2 lo hizo el año pasado desde Yasny, en Rusia. Ambos fue-

ron a bordo de antiguos misiles nucleares operados por la rusa ISC Kosmotras, en una reutilización de estos misiles de acuerdo con el Tratado de No Proliferación de Armamento Nuclear firmado entre Estados Unidos y la Unión Soviética.

Parece que el lanzamiento se está convirtiendo en la madre del cordero en la evolución de la industria de satélites. El multimillonario de PayPal y propietario de la empresa SpaceX, Elon Musk, ha llenado portadas de periódicos



La teledetección permite determinar las características de los cultivos agrícolas.



Impresión artística del satélite Sentinel-2 y el ancho de barrido de sus sensores.

peraturas y la coloración del mar y la tierra, datos muy relevantes para la observación del clima. Por último, Sentinel-4 y Sentinel-5 medirán la composición de la atmósfera desde una órbita geoestacionaria y una órbita polar, respectivamente.

cos con su plan para colonizar Marte, pero es en el área de los satélites, y en concreto en su lanzamiento, donde está dando los primeros pasos de sus ambiciones espaciales. Con la reutilización de cohetes Falcon, Musk ofrece tarifas de cuatro a diez veces más baratas. Como clientes, de momento ha conseguido que el gigante SES Astra utilice sus servicios para lanzar su SES-8. Su idea es que el coste principal sea sólo el combustible. Si tiene éxito, quien sabe cómo afectará a la relación que tenemos con el espacio. En esa línea también se mueve la nueva aventura espacial de Virgin Galactic, del multimillonario Richard Branson, quien se suma a la carrera adaptando, en este caso, un Boeing 747.

Y luego está Silicon Valley. Alrededor de las tierras áridas están naciendo multitud de empresas como Planet Labs, Black Skye o Sky Box para hacer teledetección de forma barata, con componentes de mer-

cado sin que sea tan caro cualificar para el espacio, y con enfoques nuevos, como el de Planet Labs, que “lanzan decenas de satélites que se mueren en un par de años. Como son tan baratos, lanzan otros nuevos después. Otro enfoque es el de grandes constelaciones con el objetivo de tener la Tierra, digamos, en tiempo real. Parece que la nueva remesa es que siempre haya una imagen de cualquier punto de la Tierra disponible y que sea muy reciente”, explica Fernández de la Peña.

“Cada día aparece una empresa nueva que invierte su dinero en lanzar constelaciones de satélites baratos para buscar usuarios, nuevos o tradicionales, que quieran hacer uso de imágenes por satélite para otras aplicaciones. Eso no había pasado hasta ahora, es un momento único. El gran reto de esta industria, que es aún muy pequeña, ya que apenas supone 1.600 millones de dólares al año, es hacer crecer la base de negocio. En compa-

ración con el mercado de telecomunicaciones, que factura cientos de miles de millones al año, es un mercado muy pequeño, y le hacemos fácil su adquisición y aplicación al usuario o directamente no las utilizará, por desconocimiento o porque es muy complicado o porque al final ni se le ocurre. Así que hacer fácil el uso de las imágenes, y hacerlas asequibles también en red, y que haya aplicaciones que den valor a terceros es fundamental y es en lo que todos estamos trabajando”, concluye el físico.

Cuando se pregunta por el progreso de un área como ésta quizás es buena idea saber lo que hace Google. El pasado verano desembolsó 500 millones de dólares en la compra de Skybox Imaging, una *start-up* de Silicon Valley. Esta empresa tecnológica ha ideado una red muy amplia de satélites para ofrecer vídeos e imágenes en alta definición diarios de la Tierra. De momento ya han lanzado dos de ellos SkySat-1 y SkySat-2. La clave está en la palabra diarios.

Para Chuvieco éste “puede ser un enfoque muy novedoso, porque los satélites de mejor resolución ahora mismo no tienen mucha frecuencia temporal, es decir, no es fácil obtener coberturas diarias. Pero en este caso incluso creo que quieren hacerlas horarias, lo que puede suponer lanzar decenas de satélites. En cualquier caso, creo que se van a ir enriqueciendo las aplicaciones con otras nuevas que hasta ahora no se utilizaban mucho como, por ejemplo, la gestión del tráfico o los temas de medios de comunicación que ya las están utilizando para algunas cosas... Creo que también va a estar más integrada la información con otro tipo de datos auxiliares para obtener productos que permitan hacer un seguimiento operativo de un fenómeno... Creo que la tendencia va a ir por ahí, más sensores pero también que se puedan desarrollar más los métodos para extraer información de calidad de esos sensores”.

# Los parques eléctricos en las centrales nucleares

■ Texto: **Alfonso J. Pérez Rodríguez** | Jefe de Área de Sistemas Eléctricos ■

Las centrales nucleares son, básicamente, instalaciones de producción de energía eléctrica que, además de generar electricidad para su distribución y consumo externo, también necesitan consumirla en situaciones en las que no la estén generando, como ocurre en los arranques y paradas (normales o de emergencia) y en caso de situaciones transitorias o de posibles accidentes.

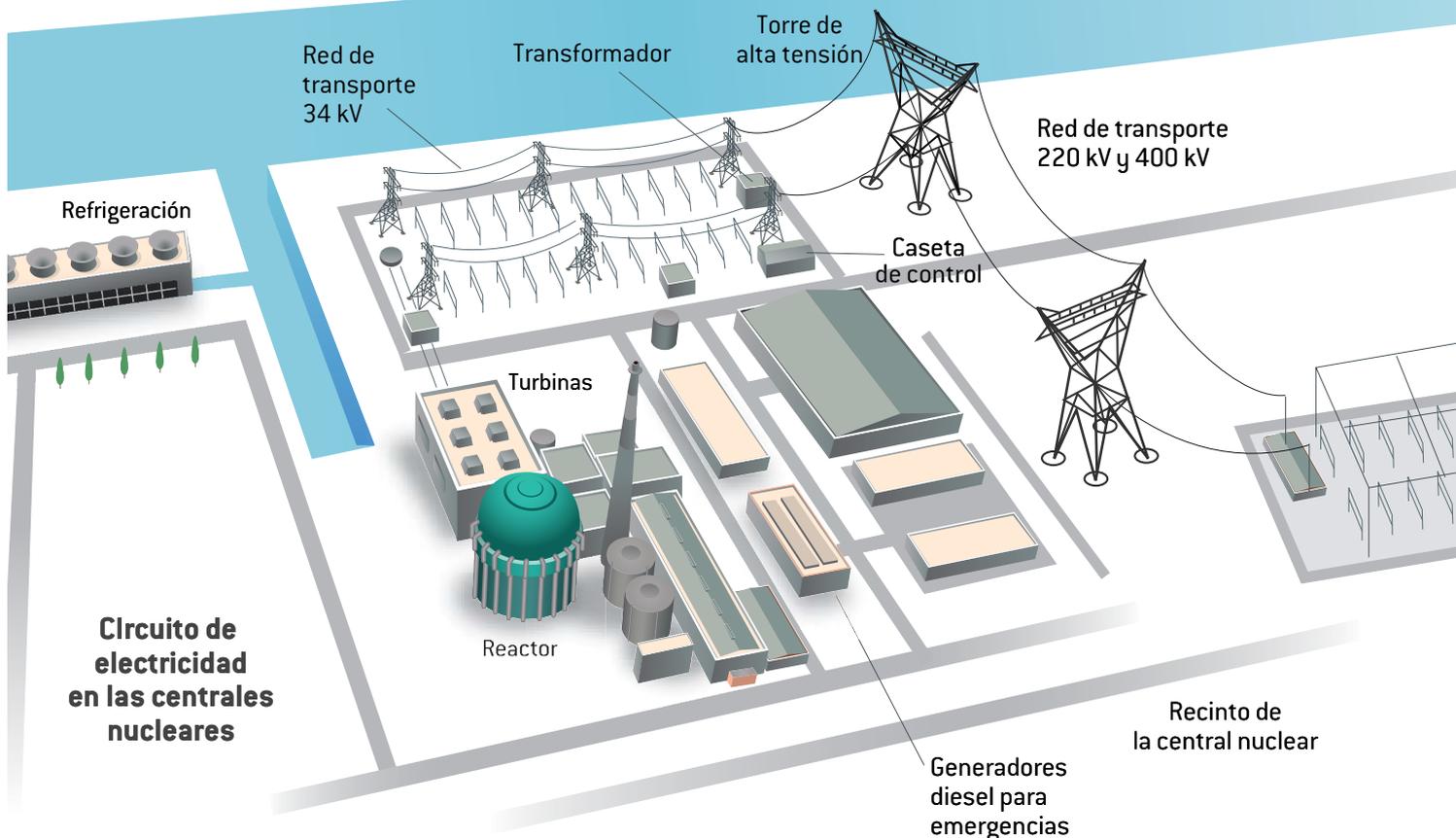
Para el suministro desde la red a la central, la normativa exige que existan

al menos dos circuitos de disponibilidad inmediata y físicamente independientes.

Las conexiones de la central con la red, tanto para la evacuación de la energía producida como para los suministros a la misma se realizan por esos dos circuitos, a través de subestaciones (o parques) eléctricas.

De modo semejante, en el recinto de la central, entre el generador principal y la red en el caso de aporte de energía, y

entre ésta y la central en caso de suministro exterior, existen transformadores que modifican el nivel de tensión, dado que la red está a alta tensión (400, 220, 132, o 110 kilovoltios), y la generación y los consumos en la central están a tensiones bastante menores (normalmente 21 kilovoltios para los generadores y 10, 6,3 ó 4 kilovoltios para los consumos en media tensión de las centrales). Las tensiones en los parques y en las líneas de transporte han de ser altas porque ello



hace que disminuyan las intensidades circulantes, disminuyendo las pérdidas de energía y la sección y el peso de los cables, lo que facilita el transporte de energía eléctrica.

El circuito de salida de energía de la central puede ser también utilizado como circuito de suministro hacia la misma, cuando en la salida del generador existe un interruptor de generación, que permite aislar adecuadamente el generador en ese punto, en caso necesario, en vez de aislarlo por desconexión en el parque de salida. Tal interruptor existe en los casos de las centrales de Cofrentes, Vandellós y Trillo.

En los parques de salida de energía de la central, su fundamento radica en que la energía generada se envía hacia diferentes direcciones, mediante las correspondientes líneas; por tanto, confluyen en él por un lado la línea de la sali-

da de energía de la central, a través del transformador principal, y por otro, varias líneas que transportan la energía generada para su distribución y consumo. Los parques de salida forman parte de la red eléctrica de transporte, esto es, no son propiedad de las centrales nucleares.

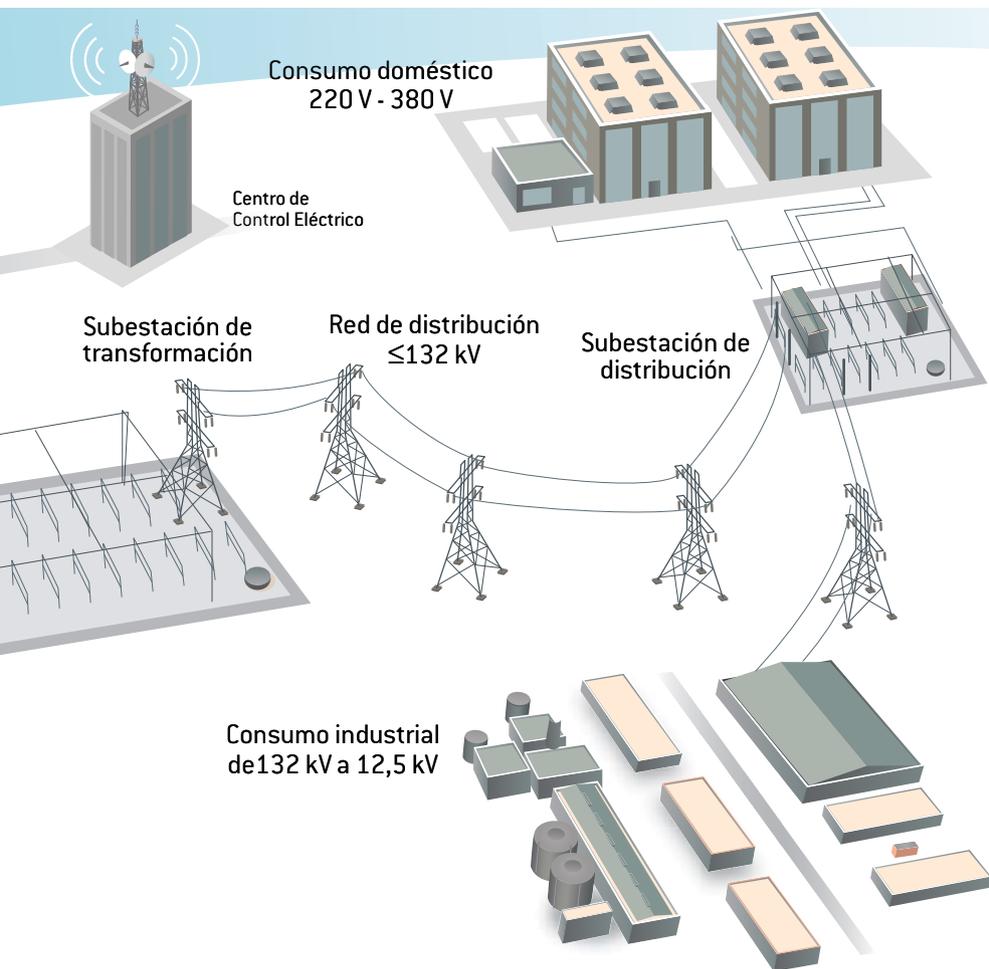
Por tanto, dado que el parque es una instalación en la que confluyen las líneas antes citadas, su diseño ha de prever que dichas líneas queden adecuadamente interconectadas o separadas entre sí. Físicamente es una retícula de cables, situada a una altura elevada del suelo y soportada por las estructuras metálicas al efecto, las cuales han de estar adecuadamente aisladas de los cables.

Los componentes más significativos de los parques son los siguientes: las barras (que son nudos en donde confluyen varias líneas), los seccionadores (que son

dispositivos para apertura manual, que solamente se pueden accionar si no hay paso de intensidad, y que se utilizan para tareas de mantenimiento), los interruptores (dispositivos que tienen apertura y cierre, con automatismos, fundamentalmente procedentes de órdenes de protección, si bien también cuentan con accionamiento manual mediante mando), los transformadores de intensidad y tensión (utilizados para obtener señales de medida y para protección), las protecciones (que detectan las situaciones de faltas, a efectos de aislarlas, permitiendo la reposición cuando han desaparecido), los pararrayos y autoválvulas (para proteger frente a rayos), los dispositivos de puesta a tierra (para asegurar la protección de las personas y equipos frente a descargas hacia tierra), los suministros de corriente continua (para control y protección), y los armarios y cabinas de señalización y mando.

Es extremadamente raro, respecto a los parques de salida de energía de la central, que se produzcan en ellos problemas que afecten a la totalidad de los mismos, dadas las previsiones de diseño de los parques y su estrategia de operación fiable y segura, aparte del hecho de que la red española de alta tensión es muy estable. Como ejemplo de una incidencia potencial más creíble, puede darse el caso de que se produzca el desprendimiento o rotura de un cable, que básicamente se manejaría sin que se crease una situación de riesgo significativa para la central.

Finalmente cabe señalar que las centrales, aparte de los suministros de energía procedentes del exterior, que funcionalmente mantienen un alto nivel de seguridad operativa, cuentan con fuentes internas de suministro de energía, constituidas por generadores diesel, con arranque automático, para hipotéticos casos de situación de pérdida completa de la energía exterior, habitualmente conocida como *black out* o BO. ©



Juan Carlos Lentijo Lentijo (Pedrosa del Rey, Valladolid, 1959) estudió en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid, donde en 1982 obtuvo el título en la especialidad de Técnicas Energéticas. Completó su formación mediante varios cursos de especialización en tecnologías y actividades nucleares realizados en Madrid (Ciemat y Tecnatom), Estados Unidos (Massachusetts Institute of Technology, MIT), Bélgica (SCK-CEN) y Alemania (FzK). Inició su carrera laboral en 1982 en Empresarios Agrupados como ingeniero de proyectos para las centrales nucleares de Cofrentes y Valdecaballeros. En 1984 ingresó por oposición en el Consejo

de Seguridad Nuclear, donde ha desarrollado la mayor parte de su vida profesional, ocupando diferentes cargos: jefe de proyecto de Centrales Nucleares, inspector residente, subdirector general de Emergencias, subdirector general de Protección Radiológica Ambiental y director técnico de Protección Radiológica. Abandonó este último puesto en junio de 2012 para incorporarse al Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), donde se hizo cargo de la dirección de la División de Instalaciones del Ciclo y Tecnología de Residuos. Desde el pasado 1 de octubre es director general adjunto y responsable del Departamento de Seguridad Nuclear de dicho organismo.

## Entrevista a Juan Carlos Lentijo, director general adjunto del OIEA

# “Necesitamos avanzar en un modelo de seguridad nuclear sostenible, que no necesite otro accidente para seguir mejorando”

■ Ignacio Fernández Bayo, periodista de ciencia y director de Divulga

**T**odavía está aterrizando en su nuevo cargo, aunque, después de más de tres años en el OIEA y más de 30 trabajando en seguridad nuclear y protección radiológica, conoce muy bien el terreno que pisa. Ocupar este cargo, que le sitúa en el escalón inmediato al del director general del OIEA, no le ha supuesto siquiera muchos inconvenientes personales, ya que lleva viviendo en Viena con su mujer desde 2012. Todo lo más reconoce, en conversación telefónica, que “me veo obligado a asistir a muchos más actos sociales que antes; y hay muchos,

así que siempre hay algo de impacto en tu vida personal. Tus horarios se acaban de estropear del todo”.

**PREGUNTA:** *¿Qué supone el nombramiento para usted?*

**RESPUESTA:** Es una satisfacción, sin duda, y un privilegio, pero también conlleva más responsabilidades, exige más tiempo de dedicación y lleva aparejada una atención extraordinaria al entorno social. Pero también tiene interés el mundo de las relaciones sociales, sobre todo a nivel internacional. El OIEA tiene en la actualidad 167 Estados miembros y uno

puede ver tanta diversidad cultural entre los diferentes países que eso también es enriquecedor.

**P:** *¿Cuántos directores adjuntos hay en el OIEA?*

**R:** El organismo tiene un director general y seis directores adjuntos por áreas. Todos podemos cubrir al director general cuando no está y cada uno tiene asignado un entorno de actividad. Hay un departamento de gestión y administración, otro de programas de cooperación y cuatro técnicos: el que promueve la energía nuclear, el que promueve las



aplicaciones no energéticas, el de control de salvaguardias y el que yo dirijo, que se encarga de la seguridad nuclear tanto tecnológica como física (actos malintencionados, sabotajes, terrorismo...).

**P:** *¿Qué papel ha jugado la influencia política en su nombramiento?*

Uno tiende a pensar que le nombran por su valor, y creo que siempre hay una mezcla de varias cosas. En lo personal, que el candidato tenga algo que justifique la elección, potencial para dirigir el departamento, que en mi caso era muy fácil porque ya llevaba aquí tres años y medio. Luego entran otros elementos de oportunidad: estar en el momento y lugar adecuados. Evidentemente, detrás del nombramiento hay un reconocimiento al sector de la seguridad nuclear en España, que es un miembro muy activo del OIEA pero no ha tenido puestos muy relevantes. Seguramente esos factores han influido.

**P:** *Usted llega al OIEA por su participación en las misiones de Fukushima ¿no?*

Ese fue uno de los estímulos. Llegué como casi todo el mundo aquí. Se produce una vacante y se convoca a quienes quieran presentarse. Quedó vacante el puesto de director de la División de ciclo de combustible nuclear y de tecnología de residuos y mi perfil se adaptaba bien a eso, pero tuve que pasar por el proceso de selección, que es bastante complicado. Imagino que había otros buenos candidatos, pero tuve la fortuna de ser designado.

**P:** *¿El ascenso a director general adjunto es decisión directa del director general?*

Sí, es una designación directa del director general, que debe convalidar con la Junta de Gobernadores.

**P:** *¿Qué ocupaciones conlleva el cargo?*

Yo diría que la clave del cargo es la promoción de la seguridad nuclear, mediante la asistencia a los países, de acuerdo con los modelos propuestos por el organismo, lo que llamamos estándares de seguridad y guías de seguridad

física, que son los elementos de referencia. Además, existen otros elementos para la promoción de la seguridad, como las convenciones internacionales; las de seguridad nuclear, de seguridad en la gestión del combustible gastado y residuos radiactivos, de pronta notificación de emergencias, de asistencia en caso de emergencia nuclear o radiológica y de protección física de materiales nucleares.

**P:** *¿Cuál es el papel del OIEA en estas convenciones?*

Las convenciones son de los países que las suscriben. El OIEA tiene un papel promotor y además hacemos la labor de

*“El reto de mi departamento es desarrollar la nueva estrategia de seguridad nuclear y hacerlo de forma transparente”*

secretaría. Se trata de que todos los mecanismos puestos en marcha funcionen, porque son un compromiso político de los países firmantes para desarrollar sus sistemas de seguridad de acuerdo con dichas convenciones. El organismo ayuda para que fluya la interacción entre los países. Por ejemplo, cuando se organizan las reuniones de revisión periódica, en las que cuentan lo que han hecho o qué planes tienen para mejorar sus sistemas. Todo eso se puede hacer porque el secretariado del organismo juega un papel dinamizador.

**P:** *¿Esas reuniones son anuales?*

Depende. Cada convención tiene sus características; la de seguridad nuclear tiene reuniones cada tres años, y luego hay otras más específicas, de preparación. Cada país tiene que preparar un infor-

me en el que expone su situación y responde a cuestiones que le hacen otros países. La reunión es el colofón del proceso. La de combustible gastado y residuos radiactivos también es cada tres años, aunque con diferentes mecanismos. Y entremedias se organizan reuniones técnicas y de otro tipo. Y hay otro mecanismo importante para nosotros que son las conferencias internacionales, que suelen tener un alto nivel de representación, a menudo con presencia de los ministros. Por ejemplo, en 2015 se ha hecho una sobre gestión y preparación de la respuesta a emergencias y en 2016 está previsto que en España se haga una sobre desmantelamiento y remediación ambiental de emplazamientos nucleares y terrenos con presencia de contaminación radiológica. Y luego hay multitud de reuniones de expertos, que son importantes para preparar y ajustar los modelos de referencia que el organismo ofrece a los países para que desarrollen sus propios sistemas de seguridad nuclear.

**P:** *¿Todas esas convenciones están asignadas a su dirección adjunta?*

Hay otras convenciones y conferencias gestionadas por otros departamentos pero probablemente el departamento de seguridad nuclear es el más activo en esta materia, el que abarca más campo, porque la seguridad nuclear es una alta prioridad. Y no solo para los países que operan centrales nucleares, sino también para los demás, incluso los pequeños países en los que se usan radiaciones ionizantes en aplicaciones no energéticas. Especialmente prioritario resulta para países que no operan centrales nucleares pero son vecinos de otros que sí lo hacen, y eso hace que los mecanismos de compromiso se potencien mucho, sobre todo a partir de Chernóbil, que es cuando se empezó a trabajar en las convenciones.

**P:** *¿Las misiones IRRS dependen también de su departamento?*

Sí. Las misiones internacionales del

OIEA son uno de los instrumentos más importantes para cumplir el compromiso de los Estados de demostrar que están cumpliendo sus obligaciones en seguridad nuclear, o que quieren aprender para mejorar sus sistemas. La IRRS es una de ellas, probablemente la más simbólica, pero no la única, porque supone una revisión completa de los sistemas reguladores de seguridad nuclear tecnológica de cada país. Además participan expertos de otros países, lo que, más allá de la labor de revisión, suponen una oportunidad única de intercambio de experiencias y opiniones entre expertos.

Creo que la misión IRRS fue en 2008 y la de seguimiento en 2011. Imagino que estarán trabajando ya para empezar un nuevo ciclo, de acuerdo con la directiva. Es un mecanismo interesante de compromiso con la seguridad nuclear, que es una cuestión de responsabilidad nacional, ya que atañe a los operadores, al regulador y al Gobierno.

**P:** *¿Qué cuestiones más urgentes tiene planteadas ahora mismo el OIEA?*

Como organismo hay muchas cosas, y se puede ver en los medios de comunicación, con cuestiones como Irán, el control de salvaguardas, la no

En la Conferencia General, el pasado septiembre, se presentó el informe del organismo sobre el accidente de Fukushima. Y también se cumplía el mandato encomendado para desarrollar el plan de acción de seguridad nuclear planteado también como consecuencia de Fukushima. La Conferencia General nos ha dado un mandato para que el OIEA asiente su nueva estrategia de seguridad nuclear, a partir de las lecciones de Fukushima. Lo aprendido está consolidado en el informe, las conclusiones del plan de acción, las reuniones de expertos realizadas y la Declaración de Viena que se hizo en febrero de 2015.

**P:** *¿En qué consiste la Declaración?*

No supone una revisión de la Convención de seguridad nuclear pero sí incrementar los compromisos de atender el papel activo de la seguridad nuclear, tanto en instalaciones nuevas como en las ya existentes y, por tanto, que haya un proceso de mejora permanente. Nuestro reto en este momento en seguridad tecnológica es desarrollar esta nueva estrategia y hacerlo de forma transparente y sostenible.

**P:** *Esa estrategia, ¿está en línea con los planes de acción europeos?*

Todo es consistente. Cuando ocurrió el accidente hubo una reacción necesaria de todo el mundo. Cada país analizó su situación específica y lanzó un programa para reforzar la seguridad nuclear en sus instalaciones a corto y medio plazo. Esto en Europa se llamó el proceso de *stress test*, pero algo parecido hicieron todos los demás países. Eso fue una primera etapa, cuyo objetivo era reforzar la seguridad de las instalaciones, en muchos aspectos. Se revisaron especialmente los análisis de riesgos externos, se reforzó la gestión de accidentes severos, la capacidad de respuesta a emergencias, etc. Esto se ha ido realizando y consolidando en los cuatro años posteriores al accidente. En paralelo se trabajó internacionalmente con el plan de acción de seguridad nuclear del



Juan Carlos Lentijo durante la conferencia de prensa celebrada al final de una misión a Fukushima en 2013.

**P:** *¿Son misiones voluntarias?*

Sí, pero también hay un cierto compromiso de los países de mantener visibilidad. Por ejemplo, la Unión Europea requiere a sus países miembros pasar por ellas al menos una vez cada diez años. Otros países que no tienen una normativa interna tan exigente, lo que hacen es informar en sus declaraciones a la Conferencia General sobre su interés por recibir una misión de estas en un futuro próximo.

**P:** *España está ya cerca de cumplir ese periodo de diez años ¿no?*

proliferación etc. No hay que olvidar que hay departamentos en el organismo que se dedican a la promoción, no solo de la energía nuclear para generar electricidad sino para otros muchos usos, médicos, industriales, etc. Por eso el OIEA está ahora reforzando su papel de promoción de los usos pacíficos de las técnicas nucleares con objeto de contribuir al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible promovidos por Naciones Unidas.

**P:** *¿Y en su Departamento?*

OIEA, que vino a ser un instrumento similar al que se aplicó en los diferentes estados pero más global.

**P:** *¿Y esta es la base de la estrategia?*

Lo que ocurre ahora es que una vez completada esta fase, con los planes de acción en marcha y tras publicar el informe, que destila con precisión las lecciones obtenidas de Fukushima, hay que pasar a otra fase. El momento es diferente, no se trata ya de una reacción rápida y urgente sino de definir una estrategia que nos ayude a consolidar un modelo de seguridad nuclear mundial, global y nacional, que sea sostenible, y cuando digo sostenible es que no necesitamos otra mala noticia, es decir otro accidente, para seguir mejorando. Este es un proceso que no termina, es dinámico y en él hay que trabajar todos los días.

**P:** *La seguridad nunca es perfecta*

Exacto. No se trata de llegar a un nivel de seguridad concreto, sino que siempre hay margen de mejora y hay que trabajar para seguir optimizando esa seguridad todos los días y en muchos detalles. Por ahí apunta mi visión de la seguridad nuclear. Yo creo que se ha reforzado la seguridad y tenemos que garantizar que ese esfuerzo continúa.

**P:** *Y con carácter mundial*

Sí, todos los países nucleares han llevado a cabo planes de mejora de la seguridad de sus instalaciones. Muchos han pedido misiones internacionales para dar visibilidad a lo que están haciendo. Ahora hay que trabajar en la definición de la nueva estrategia para explorar si hay posibilidades de mejorar los mecanismos internacionales de seguimiento de la implantación de actuaciones concretas de mejora de la seguridad nuclear en cada país.

**P:** *¿Cuál sería la palabra o las palabras clave para este proceso?*

Para mí la palabra clave es sostenibilidad. Se debe asegurar que tenemos implantado un modelo de seguridad nuclear que no es solo reforzado sino también sostenible, por eso hay que seguir trabajando en la implantación de las medidas derivadas de las lecciones aprendidas de Fukushima. Es obvio que todavía hay margen para mejorar aspectos y metodologías de evaluación de sucesos o riesgos de origen natural, también en seguir trabajando en investigación y desarrollo para mejorar la fortaleza del combustible ante una situación accidental, las capacidades de respuesta a emergencias... Pero la sostenibilidad es un concepto que va más allá y pasa por garantizar que las organizacio-

nes responsables de la seguridad nuclear tienen en su trabajo cotidiano un compromiso claro, permanente y activo.

**P:** *La cultura de seguridad...*

Sí, ahí es donde yo quería llegar. No es un concepto nuevo pero debe impregnar a todas las organizaciones, no solo a los operadores sino también al regulador. Y una cosa que se aprendió en Japón es que este concepto no estaba bien implantado y se identificaron problemas de exceso de autoconfianza. Es preciso que haya organizaciones robustas, responsables, con alto sentido de la autocrítica, y con transparencia. Al final, de lo que estamos hablando es de cultura de seguridad. No hay que reinventar el principio sino trabajar en su implantación práctica.

**P:** *¿Y en seguridad física?*

Estamos también en un momento muy importante. Tenemos un modelo que se ha desarrollado en los últimos años, y hay una Convención de Protección Física de Materiales Nucleares, de la que se hizo una revisión en 2005 que esperamos que entre en vigor en 2016, una vez sea ratificada por un número suficiente de países signatarios. Va a ser además un año muy simbólico, porque habrá tres grandes eventos en este ámbito. Uno es la Cumbre de Seguridad Nuclear Fís-

## “La reputación del modelo de seguridad nuclear y radiológica español es muy buena en el ámbito internacional”

**PREGUNTA:** *¿Cómo se ve desde el exterior, especialmente desde el OIEA, al Consejo de Seguridad Nuclear?*

**RESPUESTA:** Creo que en general el sector de la seguridad nuclear en España se ve bien, como un país maduro en seguridad nuclear, con un regulador fiable. Y esto, más que una opinión personal, que podría estar sesgada por mi origen, lo demuestran hechos claros, como las misiones internacionales a las que se viene sometiendo el sistema nacional, como la IRRS, que tuvo unos resultados excelentes, y las misiones OSART a las centrales nucleares. España es vista como un país serio también porque participa activamente en las princi-

pales plataformas y proyectos que lanzamos desde el OIEA.

**P:** *Como las dos conferencias que España va a organizar en 2016.*

**R:** Claro. Eso demuestra que es un país muy activo y que suscita confianza. El CSN se va a encargar de organizar la próxima conferencia de reguladores de seguridad física que había organizado hasta ahora la NRC, y eso demuestra confianza en el regulador español. La reputación general del modelo de seguridad nuclear y radiológica español es muy buena en el ámbito internacional. Fue importante también el que desde mediados de los años 90 se impulsara la participación en las plataformas internacionales, como WENRA

sica, que organiza la presidencia de EEUU y que intenta que haya un compromiso político de alto nivel, para que el organismo pueda ejercer su labor de coordinación. Después habrá, en mayo, una Conferencia de Reguladores de Seguridad Nuclear Física, que se celebrará en Madrid y lo organiza el CSN con el apoyo de la NRC. Me parece que va a ser importante para el desarrollo del modelo o estrategia general sostenible para el futuro de la seguridad física. Por último, en diciembre, el OIEA organiza la II Conferencia Ministerial Internacional sobre Seguridad Física, de altísima importan-

cia para nosotros. Deberá ser el colector final de ideas, experiencias y propuestas de los tres eventos para analizar el modelo que proponemos de seguridad nuclear física sostenible, que debe estar apoyado en varios pilares y uno de ellos es la coordinación internacional.

**P:** *¿Cómo ve la seguridad nuclear mundial en este momento?*

Todo indica que se ha reforzado, hay mejores sistemas y capacidades de prevención en las instalaciones y de respuesta a posibles accidentes. Pero, como decía antes, tenemos que ser conscientes de que la seguridad es un concepto di-

námico y requiere que se mantenga la tensión en las diferentes estructuras implicadas, para garantizar que se sigue aprendiendo y mejorando. Mi visión de la seguridad, basada en datos objetivos, es que es mayor que antes de Fukushima y que hay que consolidar este refuerzo.

**P:** *Por último, una pregunta más personal. ¿Qué supuso el CSN para usted?*

Es una pregunta muy sencilla de responder. Entré con 24 años, y he estado allí hasta que me vine a Viena. El Consejo es la casa donde crecí profesionalmente, a la que debo casi todo lo que soy. Tuve la suerte de haber disfrutado de puestos muy diferentes y eso ha sido un proceso de enriquecimiento profesional y personal muy grande. Todo ello en un ambiente de trabajo extraordinario, rodeado por compañeros y equipos de trabajo excepcionales, con los que he aprendido y crecido. Solo tengo agradecimiento y reconocimiento a esa casa, que aun siento como mía. Una de las cosas más satisfactorias del OIEA, es el entorno multicultural, el trato con personas de países con diferentes capacidades en el ámbito nuclear, algunos de los cuales necesitan ayuda para que empiecen casi desde cero. Es un reto muy atractivo y lo puedo afrontar con ilusión gracias a lo mucho que aprendí en el Consejo. 



Juan Carlos Lentijo como miembro del equipo de una de las misiones del OIEA en Fukushima.

e INRA, que España se incorporara a los instrumentos de coordinación europeos y que participara activamente en la Agencia de Energía Nuclear de la OCDE y en los programas del OIEA, lo que le ha dado visibilidad en el contexto internacional. En mi departamento es habitual que se invite a colegas del Consejo o de la industria a participar en reuniones de expertos para compartir experiencias y determinar los estándares de seguridad, porque España está en todos los comités de desarrollo de dichos estándares.

**P:** *Para organizar la anunciada conferencia sobre desmantelamiento ¿ha influido la experiencia española y esa visibilidad?*

**R:** España ha tenido que acometer diversos proyectos de desmantelamiento de grandes instalaciones, como Van-

dellós I y José Cabrera, de reactores de investigación, como los del Ciemat y las universidades de Bilbao y Politécnica de Cataluña, y de otras instalaciones, como las de minas de uranio, por lo que está bien posicionada en este tema. Y esto es importante porque se trata de un ámbito que va a crecer en el futuro, y en Europa especialmente, por la decisión de algunos países de cerrar instalaciones, aunque no sea de forma inmediata. La conferencia, que tendrá dos componentes, el tecnológico y el de seguridad, va a ser una buena oportunidad para ponerse al día y España puede aprovechar para demostrar que su sector de desmantelamiento acumula ya experiencia y puede tener buenas oportunidades. 

# Consolidación de la utilidad del portal educativo de protección radiológica CSN-Ciemat

De acuerdo con la nueva Directiva europea CD2013/59/EURATOM, es necesario actualizar y mejorar los requisitos y cualificaciones de los actores de la protección radiológica ocupacional y, en particular, los de aquellas personas relacionadas con las exposiciones debidas a la práctica médica. Para garantizar un alto nivel de conocimientos, habilidades y competencias entre los trabajadores de instalaciones nucleares y radiactivas se dispone de programas de formación, que son necesarios para conseguir las acreditaciones y licencias que concede el Consejo de Seguridad

Nuclear. Por ello, desde 2003, el CSN y el Ciemat mantienen diversos acuerdos para el desarrollo, mantenimiento y actualización del material docente de estos cursos, que es accesible a través de internet. Su calidad viene avalada por el uso que realizan los participantes en los más de mil cursos impartidos. ■ Texto: **Cristina Llorente Herranz** | Ciemat–Aula Virtual | **Marisa Marco Arbolí** | Ciemat–Jefe de División de Gestión del Conocimiento | **Javier Fernández Sánchez** | Ciemat–Formación presencial en PR y TN | **Rosa Villarroel González-Elipe** | CSN–Jefa del Área de Licencias y Formación ■

La adecuada formación en protección radiológica (PR) constituye el pilar básico en el que se apoya la cultura de seguridad, en concreto para la protección contra los riesgos derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes. La nueva Directiva europea CD2013/59/EURATOM lo tiene en cuenta y establece la necesidad de garantizar y mejorar los requisitos y cualificaciones de los actores de la protección radiológica (PR) ocupacional y, en particular, los de aquellas personas relacionadas con las exposiciones debidas a la práctica médica.

Uno de los puntos claves para el adecuado entrenamiento de los trabajadores, que garantice un alto nivel de conocimientos, habilidades y competencias, es la calidad y la armonización de los programas de formación.

En España, los programas de formación ocupacional se basan en acreditaciones y licencias de carácter individual, concedidas por el Consejo de

Seguridad Nuclear, que tienen validez a los efectos de reconocer la formación en seguridad y protección radiológica, obviamente sin perjuicio de las titulaciones y requisitos exigibles, en cada caso, en el orden profesional y en función de las técnicas aplicadas.

El procedimiento de concesión de licencias de operación en las instalaciones radiactivas considera cinco campos de aplicación especializados. Las acreditaciones para operar en instalaciones de radiodiagnóstico se otorgan según la especialidad: general, dental o podológico. En el caso de la práctica intervencionista, además se exige un segundo nivel de formación en PR complementario y adicional a la formación genérica de las instalaciones de radiodiagnóstico.

Las entidades que proporcionan la formación, deben estar debidamente homologadas por el CSN a tal fin. Los requisitos para la homologación se pueden encontrar en la Guía de Seguridad 5.12

(GS-5.12) del CSN, para las instalaciones radiactivas, y en la Instrucción de Seguridad 17 del CSN (IS-17), para las instalaciones de rayos X (RX) con fines de diagnóstico médico. Dado el elevado número de instalaciones radiactivas (~1.400) y de radiodiagnóstico (~35.400) que existen en nuestro país y, en consonancia, las personas que necesitan estar formadas, es necesario que se establezcan mecanismos para la homogeneización de los programas de formación, independientemente de la región donde se impartan.

En este contexto, el CSN y el Ciemat han estado trabajando conjuntamente desde 2003 en el desarrollo, mantenimiento y actualización de material docente para la impartición de los cursos de PR para la obtención de licencias y acreditaciones para la operación en instalaciones radiactivas y de radiodiagnóstico médico. Este material se encuentra accesible, en soporte digital, a través de internet desde el Portal Educativo de Protec-



El CSN y el Ciemat mantienen desde 2003 acuerdos para impartir cursos sobre protección radiológica.

ción Radiológica: <https://www.csn.es/index.php/es/materiales-de-cursos/cursos-de-proteccion-radiologica>; con el objetivo de establecer la armonización de los programas de formación y facilitar la formación de todos los profesionales.

Con el proyecto que mantienen el CSN y el Ciemat, ambas instituciones han apostado por acercar de forma gratuita a los agentes implicados en la formación en PR los recursos didácticos en castellano de alta calidad, actualizados y validados por los expertos nacionales que colaboran con el proyecto, constituyendo en conjunto un sistema para la gestión del conocimiento, en consonancia con el Plan estratégico de la Comisión Europea para la formación y entrenamiento del programa Horizonte 2020, que mantenga el alto nivel de formación y entrenamiento requerido a nivel nacional e internacional, avalado por la experiencia de más un millar de cursos impartidos por Ciemat.

### Descripción del proyecto

El proyecto del Portal educativo de protección radiológica CSN-Ciemat se mantiene gracias a acuerdos específicos de colaboración entre ambas instituciones, cuyos ejes principales son:

- Integrar en el proyecto a profesionales de las diferentes instituciones que tienen competencias en protección radiológica de los distintos ámbitos.

- Dotar a las instituciones, profesionales, enseñantes y ciudadanos en general de material de referencia que aporte recursos pedagógicos y herramientas en un mismo entorno.

- Utilizar los recursos de forma eficiente y responsable para que el proyecto tenga la máxima difusión y se consolide con la eficacia y rigor necesarios.

### Primer Portal (2003 -2006)

En la primera fase de este proyecto, se desarrolló el material correspondiente a dieciséis cursos de PR. Seis de ellos están di-

rigidos a las instalaciones de radiodiagnóstico médico y los diez restantes a instalaciones radiactivas:

### Instalaciones de radiodiagnóstico:

- Curso de PR para operar instalaciones de rayos X con fines de diagnóstico general, diagnóstico podológico y diagnóstico dental.

- Curso de PR para dirigir instalaciones de rayos X con fines de diagnóstico general, diagnóstico podológico y diagnóstico dental.

### Instalaciones Radiactivas:

- Curso de PR para operadores de instalaciones radiactivas en las especialidades del área médica: medicina nuclear, fuentes no encapsuladas y radioterapia.

- Curso de PR para operadores de instalaciones radiactivas en las especialidades del área industrial: radiología industrial, control de procesos y técnicas analíticas.

- Curso de PR para supervisores de instalaciones radiactivas en las especialidades del área médica: medicina nuclear, fuentes no encapsuladas y radioterapia

- Curso de PR para supervisores de instalaciones radiactivas en las especialidades del área industrial: radiología industrial, control de procesos y técnicas analíticas.

El material didáctico que compone cada uno de los cursos, se desarrolló en formato digital e incluye:

- Programa
- Objetivos didácticos
- Textos de teoría y de prácticas
- Presentaciones
- Preguntas
- Bibliografía

En esta primera fase del proyecto también se desarrolló un portal web de acceso libre, donde se alojaba el material didáctico (ver figura 1 en página siguiente).

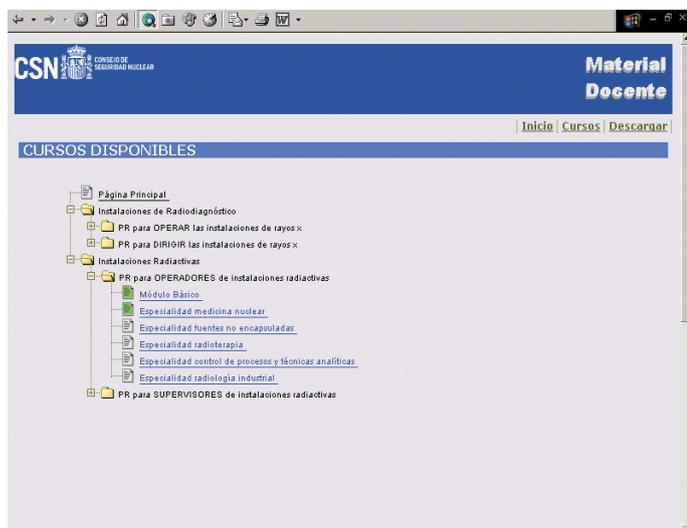


Figura 1. Imágenes del primer portal didáctico.

### Segunda fase (2008- 2010)

Después de varios años de uso, y como consecuencia de las reformas legislativas y los avances en la tecnología se vio la necesidad de actualizar los programas formativos así como los contenidos por lo que ambas instituciones vieron la necesidad de abordar la mejora del portal y la actualización de forma sencilla de los contenidos didácticos.

En esta segunda fase del proyecto, se actualizó el conjunto completo de documentación que abarca el proyecto, para lo que se estableció un calendario de actuación donde se dio prioridad a los cursos para radiodiagnóstico médico, debido a las modificaciones requeridas en la instrucción IS-17 del CSN.

Uno de los aspectos más relevantes tratado en profundidad fue la actualización

y mejora del portal en los aspectos relativos tanto a la accesibilidad del material como a la gestión del portal, haciendo uso de los nuevos avances en las tecnologías de la información y la comunicación. El primer portal presentaba algunos inconvenientes, tanto desde el punto de vista del usuario como desde el punto de vista de la gestión del portal, por lo que se desarrolló un nuevo portal, el actual, formado

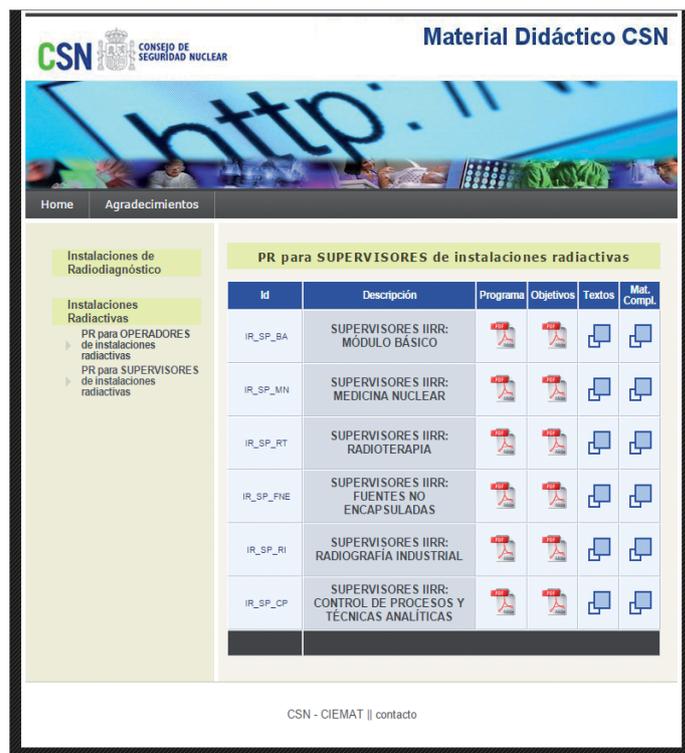
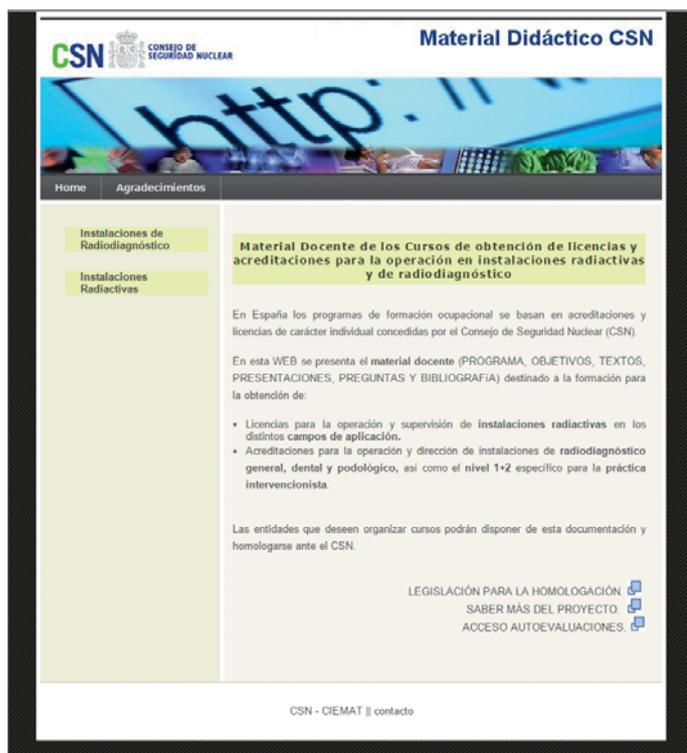


Figura 2. Imágenes del nuevo portal educativo de PR y del módulo de gestión

por dos módulos, uno de acceso al público y otro de acceso restringido a diferentes roles para las labores de gestión y mantenimiento. El módulo de acceso público tiene un nuevo diseño mucho más amigable, intuitivo y fácil de utilizar y, al mismo tiempo, permite reducir los tiempos de descarga para los usuarios. El módulo de mantenimiento permite la asignación de roles para realizar las labores de gestión y actualización de los contenidos, presentes en la parte pública del portal. Este módulo facilita la labor de gestión de los contenidos a los profesionales de la unidad de formación del Ciemat. Los contenidos de los cursos actualmente se encuentran almacenados de forma independiente, lo que facilita la actualización de los contenidos de forma independiente e inmediata sin alterar el resto de documentos publicados (ver figura 2).

Una ventaja adicional que presenta este nuevo portal son las estadísticas de uso, que nos han permitido conocer la verdadera magnitud de utilización de este portal, no solo a nivel nacional sino internacional.

La parte más novedosa introducida en la segunda edición del proyecto fue la incorporación de un sistema de autoevaluaciones (ver figura 3) con acceso desde el portal, cuyo objetivo es ayudar a los estudiantes y profesionales que lo necesitan a preparar sus exámenes para la obtención de la correspondiente licencia o acreditación, practicando de forma li-

bre con autoevaluaciones similares al examen para el que se preparan.

### Tercera fase (2012-2015)

En esta tercera etapa del proyecto se ha hecho patente su utilidad por parte de los usuarios, tal y como constatan las estadísticas de uso, gracias al compromiso del CSN y el Ciemat por seguir trabajando en ofrecer recurso didácticos de alta calidad.

Los objetivos concretos en la edición vigente del acuerdo, además de continuar con las premisas de mantenimiento y actualización de los materiales didácticos, son el desarrollo de nuevos materiales y nuevas capacidades para mejorar y completar el sistema.

En esta fase, se ha abarcado la revisión del 40% de los materiales de los cursos desarrollados en la primera fase y que, como se ha mencionado, fueron ya actualizados durante la segunda fase. Para ello, se hizo un análisis exhaustivo de las necesidades de revisión, incidiendo en aquellas áreas que más cambios en

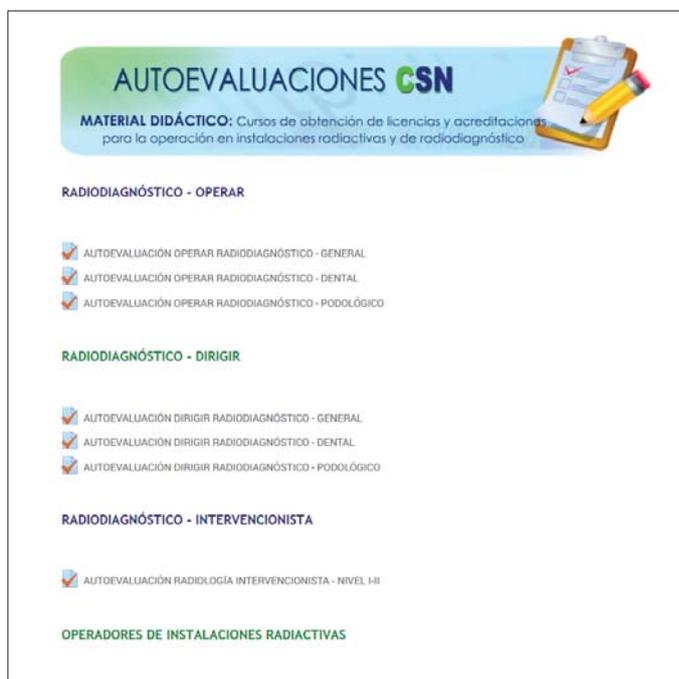


Figura 3. Sistema de autoevaluaciones online.

la práctica han sufrido o que fueron actualizadas en la etapa inicial del segundo acuerdo, por lo que estaban más desactualizadas. Como consecuencia de este análisis se definió el calendario de revisiones (ver figura 4). Se utilizó como procedimiento para la revisión el protocolo que se desarrolló durante la segunda etapa del proyecto.

En esta fase del proyecto se ha incluido como novedad el desarrollo de material nuevo para dos cursos:

— Materiales didácticos del Curso de PR para el radiodiagnóstico de primer y segundo nivel (Procedimientos de radiología intervencionista).

Figura 4. Tabla de actualizaciones del proyecto

Módulo	Comienzo	Finalización	Estado
Básico -Operadores IIRR	Septiembre de 2012	Marzo de 2013	Finalizada
Fuentes no encapsuladas -Operadores IIRR	Septiembre de 2012	Marzo de 2013	Finalizada
Básico -Supervisores IIRR	Septiembre de 2013	Marzo de 2014	Finalizada
Fuentes no encapsuladas -Supervisores IIRR	Septiembre de 2013	Marzo de 2014	Finalizada
Control de procesos -Operadores IIRR	Agosto de 2014	Marzo 2015	Finalizado
Control de procesos -Supervisores IIRR	Agosto de 2014	Marzo 2015	Finalizado
Medicina Nuclear -Operadores IIRR	Enero 2015	Previsto Octubre 2015	En curso
Medicina Nuclear -Supervisores IIRR	Enero 2015	Previsto Octubre 2015	En curso

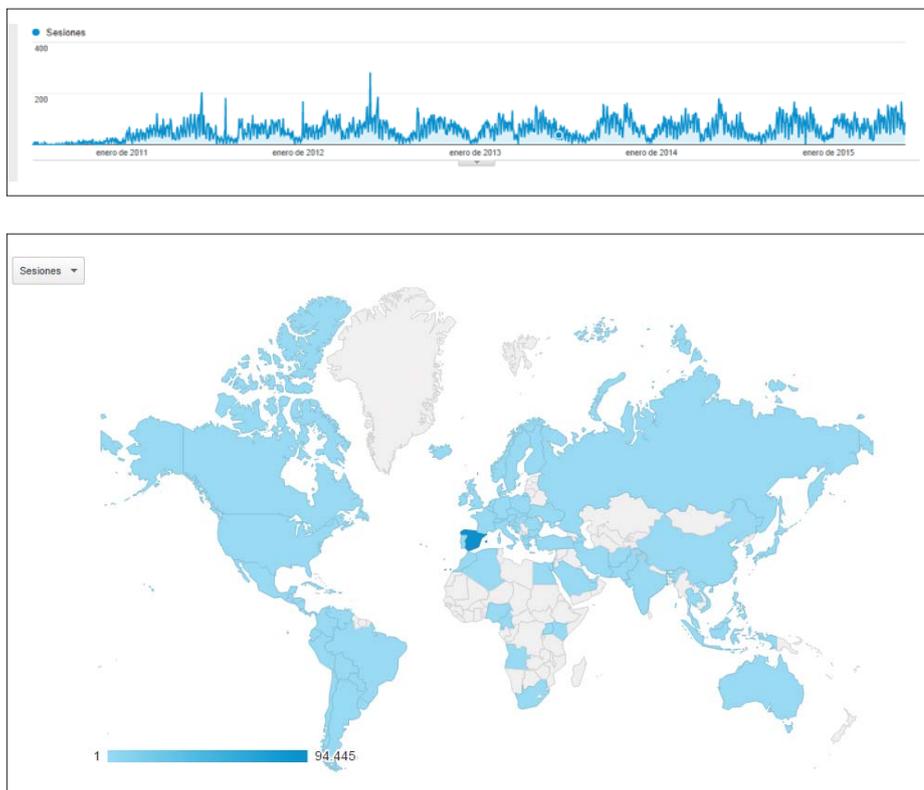


Figura 5. Estadísticas de uso desde julio de 2010 a junio 2015 por países.

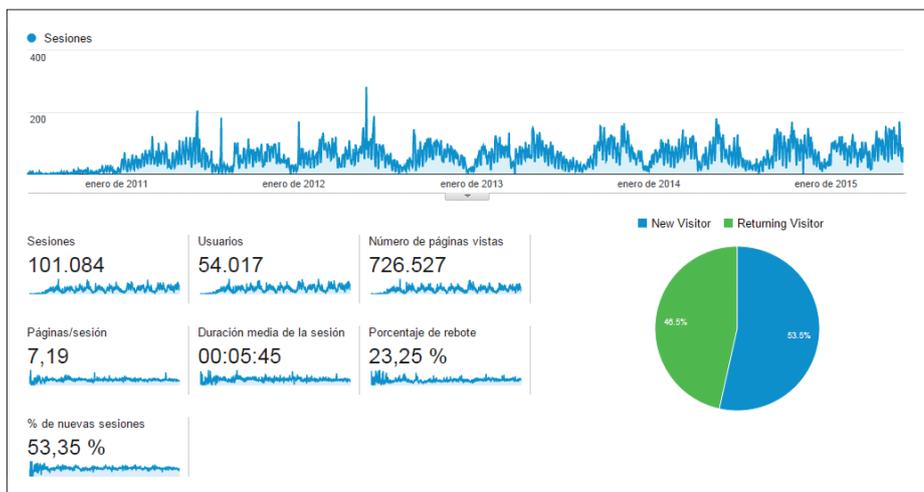


Figura 6. Resumen de indicadores de uso del portal de 2010 a 2015.

— Materiales didácticos del Curso de PR de Técnico experto en protección radiológica para instalaciones de radiodiagnóstico médico.

El primero de estos cursos, relativo al nivel 1+2 de PR para la práctica intervencionista, que, mediante la Orden SCO/3276/ 2007, se les exige a los profesionales de esta práctica, como un segundo nivel de formación, y cuyos conteni-

dos mínimos se indican en la guía de la Comisión Europea 116, se comenzó a preparar durante el segundo semestre de 2012, con un programa conjunto e integrado de ambos niveles de formación, que se impartió inicialmente de forma presencial, para detectar las posibles mejoras a introducir y se puso a disposición del público en mayo de 2013.

El material para el curso de técnico ex-

perto en protección radiológica para instalaciones de radiodiagnóstico médico sigue las indicaciones definidas en la Instrucción de Seguridad 6 (IS-06) del CSN, se ha comenzado a preparar a finales de 2014 y debe estar disponible en el portal especializado en el segundo semestre de 2015.

La aplicación de autoevaluaciones *online*, desarrollada durante el segundo acuerdo, se nutre de una base de datos de cuestiones que inicialmente se presentaron como material de apoyo al profesorado. Este sistema ha resultado de gran utilidad para los usuarios que están preparando sus exámenes, tal y como constatan las estadísticas de uso y las demandas de ampliación recibidas a través del correo electrónico del portal. Por este motivo, en esta fase del proyecto se ha incluido como objetivo específico la ampliación de esta base de datos. Las tareas de revisión han incluido el desarrollo de diversas cuestiones más por tema, para poder engrosar la base de datos. También se ha trabajado en una nueva categorización de las preguntas, que posibilite aumentar el número de cuestiones que constituyen las evaluaciones.

## Resultados y discusión

El CSN y el Ciemat han invertido grandes esfuerzos para fomentar la cultura de seguridad en el ámbito de la protección radiológica en instalaciones radiactivas y de radiodiagnóstico a través del proyecto del Portal educativo de protección radiológica, ofreciendo material completo de alta calidad, elaborado, revisado y actualizado por expertos de cada una de las áreas, en castellano y de forma gratuita.

Las estadísticas de uso se tienen desde que se realizó la remodelación y actualización del portal en julio de 2010, por lo que se cuenta ya con cinco años de información con la que valorar la utilidad del portal.

A continuación se describen los resultados del análisis de las estadísticas. Como se puede ver en la figura 5, en es-

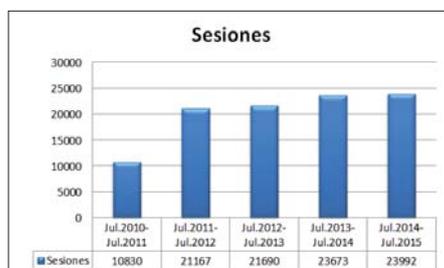


Figura 7. Comparativa de indicadores de uso del portal por años

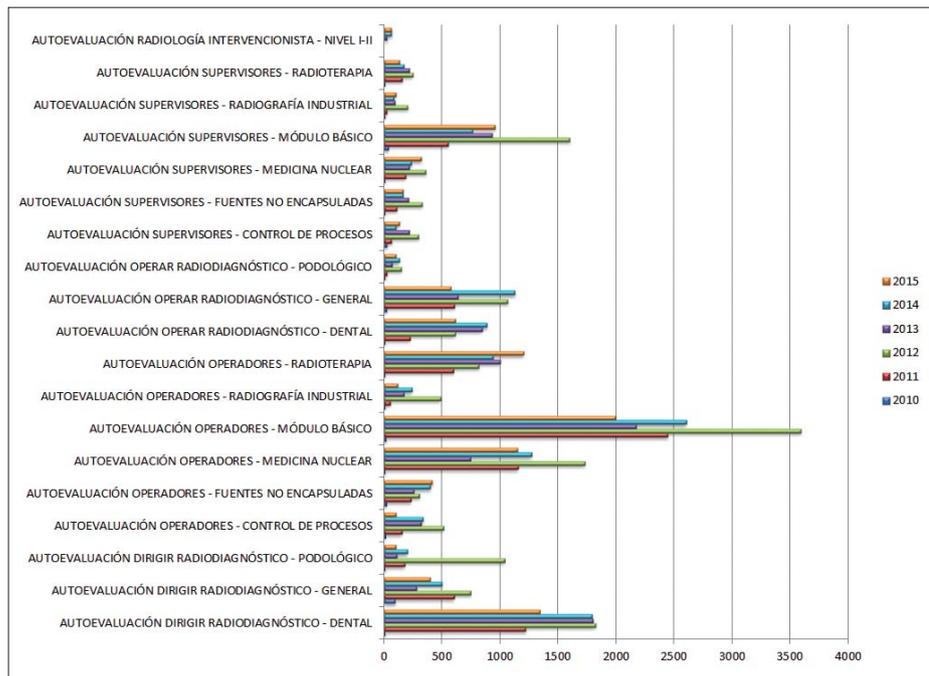


Figura 8. Estadística de uso de las autoevaluaciones por años agrupadas por área.



Figura 9. Representación del número total de autoevaluaciones realizadas cada año

tos cinco años se ha tenido un total de 54.017 visitantes, procedentes de 85 países diferentes, a través de 101.084 sesiones, entendiendo por sesión el periodo durante el cual un usuario interactúa con el sitio web.

En promedio, se reciben 56 visitas diarias. Como era de esperar, el 93,43% de las visitas proceden de España, seguido por países de habla hispana (México, Argentina, Chile, Perú, El Salvador, Colombia y Venezuela), con una media de 515 sesiones cada uno; a continuación Brasil, Alemania, Reino Unido, Estados Unidos, Francia y Portugal, con una media de 200 sesiones iniciadas en cada país.

Estos datos, contrastados con el número medio de páginas del portal visitadas por sesión (7,2 páginas por sesión),

y con la duración media de las visitas (5,45 minutos por sesión), es indicativo de que las visitas al portal se realizan de forma deliberada, y no por casualidad.

Otro parámetro importante, indicativo de la utilidad del portal para los usuarios, es que el valor medio de nuevos visitantes es igual al 53,5%, es decir que prácticamente la mitad de los usuarios que lo visitan una vez, vuelven a hacerlo periódicamente (ver figura 6).

A continuación, en la figura 7, se muestra la comparación de los indicadores por años, donde se observa una tendencia ascendente tanto en el número de usuarios como en el número de sesiones y de páginas visitadas. Estos datos son indicativos de la gran utilidad que tiene el portal para los usuarios.

Analizando los datos del número de sesiones se ve que entre el segundo y el tercer año hay un crecimiento sutil del orden de 500 sesiones por año, pero entre tercer y cuarto año hay un importante aumento del orden de 2.000 sesiones por año, que coincide con la publicación de los materiales para el curso de nivel 1+2 de PR para la práctica intervencionista. Del cuarto al quinto año hay un aumento del orden de 300 sesiones por año.

De estos datos se deduce el impacto que ha tenido para la sociedad el desarrollo del material para la práctica intervencionista.

Seguidamente, se muestran las estadísticas de uso de la aplicación de autoevaluaciones.

En 2010 se puso a disposición de los usuarios los materiales de los cursos de PR para las instalaciones radiactivas y los necesarios para obtener las acreditaciones de radiodiagnóstico médico. Las autoevaluaciones para el curso de nivel 1+2 para intervencionistas se publicaron en mayo de 2013.

A continuación, en las figuras 8 y 9, se muestra la estadística de uso del sistema de autoevaluaciones.

Desde que se puso en marcha el sistema de autoevaluaciones, se han realizado un total de 136.867 autoevaluaciones. En el análisis por años se comprueba que hay un enorme interés en esta aplicación, manteniéndose el número de autoevaluaciones que se realizan anualmente.

También se comprueba que el mayor número de autoevaluaciones lo tienen los módulos básicos de instalaciones radiactivas, tanto operadores como supervisores, puesto que es común a las cinco especialidades, seguido por el radiodiagnóstico dental, tanto para dirigir como para operar. Son ampliamente utilizadas las autoevaluaciones de medicina nuclear y radioterapia.

Estos datos demuestran el enorme interés que tiene esta herramienta, que complementa el sistema.

## Conclusiones

El Sistema de Formación en Protección Radiológica establecido en España se basa en la normativa de seguridad nacional, traspuesta de las directivas europeas. En los últimos años, la educación y formación en PR, tanto en lo que se refiere a la protección de los trabajadores expuestos a las radiaciones ionizantes como a la protección de los pacientes, ha evolucionado hacia la especialización en los diferentes campos de aplicación y hacia la mejora de la información del público, en los diversos aspectos relacionados con las prácticas que puedan dar lugar a la exposición de la población.

CSN y Ciemat han desarrollado una gran actividad en los temas educativos y han invertido esfuerzos en la formación de los trabajadores expuestos a la radiación. En este proyecto colaboran desde hace más de 10 años para ofrecer a la sociedad recursos didácticos en castellano de alta calidad, actualizados y validados por los expertos nacionales de cada ámbito, de forma gratuita y adaptables a las necesi-

dades particulares, utilizando las tecnologías de la información y comunicación, lo que constituye un sistema de gestión y preservación del conocimiento en protección radiológica en línea con la estrategia europea de formación especializada.

Los datos estadísticos obtenidos del uso del portal, así como el *feedback* directo, obtenido de la cuenta de correo electrónico [formacioncsn@ciemat.es](mailto:formacioncsn@ciemat.es), revelan el enorme interés y utilidad que tiene el portal para la sociedad, con más de 54.000 usuarios diferentes y 101.084 sesiones abiertas en 5 años, procedentes de 85 países diferentes, en su mayoría hispanoparlantes.

La información extraída de la aplicación que soporta las autoevaluaciones indica que desde la creación de la cuenta de usuario se han realizado 56.813 autoevaluaciones entre todas las áreas, lo que demuestra el interés de los usuarios por esta utilidad.

Iniciativas como el Portal educativo en Protección Radiológica describen y potencian la mejora de las capacidades de los profesionales y la calidad de su formación, adaptándola a las actuales necesidades de la sociedad. Como conclusión puede decirse que la formación constituye una herramienta clave para realizar un trabajo seguro en cualquier ámbito, y en concreto en la PR, y que el portal educativo contribuye ampliamente a conseguir este objetivo. ©

## Referencias

- Convenio marco de colaboración Ciemat-CSN de 30 de julio de 1996.
- Acuerdo específico de colaboración Ciemat-CSN de 2003, para la elaboración de material docente de los cursos de obtención de licencias y acreditaciones para la operación en instalaciones radiactivas y de radiodiagnóstico, en soporte informático.
- Acuerdo específico de colaboración Ciemat-CSN de 3 de marzo de 2008, para el mantenimiento, actualización y mejora del mate-

rial docente de los cursos de obtención de licencias y acreditaciones para la operación en instalaciones radiactivas y de radiodiagnóstico, desarrollado para el portal educativo de protección radiológica.

Acuerdo específico de colaboración Ciemat-CSN de 12 de marzo de 2012, para el mantenimiento, actualización y mejora del material docente de los cursos de obtención de licencias y acreditaciones para la operación en instalaciones radiactivas y de radiodiagnóstico, desarrollado para el portal educativo de protección radiológica.

Guía de Seguridad 5.12 del CSN, sobre homologación de cursos de formación de supervisores y operadores de instalaciones radiactivas.

Real Decreto 1846/1999, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas, modificado por el Real Decreto 35/2008.

Instrucción de Seguridad IS-17 del CSN, de 2008, sobre homologación de cursos y programas de formación para el personal que dirija u opere los equipos en las instalaciones de rayos X con fines de diagnóstico médico y acreditación del personal.

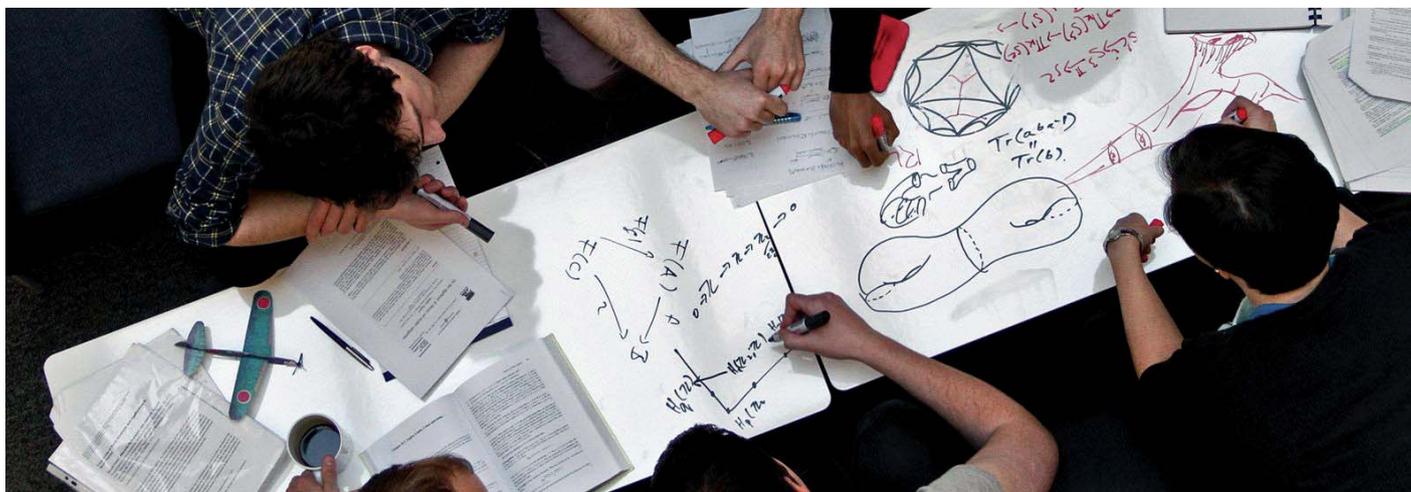
Real Decreto 1085/2009, sobre instalación y utilización de aparatos de rayos X con fines de diagnóstico médico.

Orden SCO/3276/2007, por la que se publica el Acuerdo de la Comisión de Recursos Humanos del Sistema Nacional de Salud, mediante el que se articula el segundo nivel de formación en protección radiológica de los profesionales que llevan a cabo procedimientos de radiología intervencionista.

Instrucción de Seguridad IS-03 del CSN, de 2002, sobre cualificaciones para obtener el reconocimiento de experto en protección contra las radiaciones ionizantes.

European Commission. Joint Research Centre. 2014. Strategic Energy Technology (SET) Plan Roadmap on Education and Training. [https://ec.europa.eu/jrc/sites/default/files/set\\_plan\\_roadmap\\_on\\_education\\_and\\_training\\_final.pdf](https://ec.europa.eu/jrc/sites/default/files/set_plan_roadmap_on_education_and_training_final.pdf)

Google analytics. <http://www.google.com/intl/es/analytics/>



Los matemáticos desarrollan modelos que ayudan a tomar decisiones acertadas en todo tipo de contextos.

La aplicación de las matemáticas en situaciones de emergencia

## En busca de la decisión perfecta

Los atentados producidos en París el pasado 13 de noviembre pusieron de manifiesto las dificultades de controlar la situación y tomar las medidas más acertadas para gestionar lo imprevisto. Ahora la ciencia matemática está desarrollando mecanismos que ayuden a quienes asumen la responsabilidad de gestionar situaciones semejantes. Los modelos matemáticos y estadísticos se han convertido en un aliado perfecto a la

hora de tomar decisiones rápidas ante catástrofes ambientales, grandes accidentes o ataques terroristas. La investigación en ciencias de la gestión —también conocida como investigación operacional— es un joven y novedoso campo científico impulsado tras el 11-S que se ha hecho imprescindible para Gobiernos, grandes multinacionales y firmas financieras. ■ Texto: **Miguel G. Corral** | periodista científico, redactor de *El Mundo* ■

Los atentados del 11-S de 2001 contra las Torres Gemelas de Nueva York causaron la muerte de cerca de 3.000 personas e hirieron a más de 6.000. Pero también provocaron pérdidas económicas directas e indirectas por valor de 50.000 millones de dólares y generaron una situación de pánico generalizado de costa a costa en Estados Unidos (EEUU), que se extendió después por todo el mundo. El 26 de diciembre de 2004, el tsunami en el océano Índico que arrasó el sudeste asiático mató a más de 225.000 personas y desplazó a millones más en todos los países ribereños, desde Kenia hasta Indonesia. Ese mismo año, el Disaster Database Project (Proyecto de base de

datos de desastres) de la Universidad de Richmond, EEUU, registró tal cantidad de acontecimientos catastróficos que en un recuento final, que implicaba desde terremotos hasta accidentes marítimos, registró de media tres nuevos desastres cada día.

Los desastres son problemas muy difíciles de abordar, que ponen a prueba la capacidad de las comunidades y de los países para proteger de una forma efectiva a sus poblaciones y a sus infraestructuras. Se trata de reducir las pérdidas humanas y de propiedades y de conseguir recuperarse de los efectos con rapidez. La aparente arbitrariedad de los impactos y el carácter tan único e irre-

petible de cada catástrofe requieren de la adopción de decisiones dinámicas, efectivas, rentables y tomadas en tiempo real, es decir, sin el lujo de disponer del suficiente tiempo para pensar la respuesta.

Hasta hace pocos años eran las ciencias sociales las que se ocupaban de la gestión de este tipo de situaciones de emergencia, mientras que las ciencias exactas se mantenían a un lado, debido a la impredecibilidad, exclusividad y aparente aleatoriedad con que suceden y se comportan los desastres naturales, los atentados, los grandes accidentes o las catástrofes medioambientales. Pero las matemáticas y la estadística han acudido a la llamada de SOS de la comunidad

internacional y lo cierto es que hoy en día no hay ni un Gobierno importante, ni una gran compañía financiera, ni un gigante de la energía ni un organismo de gestión del tráfico aéreo que no cuente con expertos en modelización matemática para mejorar la toma de decisiones en situaciones de emergencia. Y fue precisamente tras los atentados del 11-S cuando se empezó a impulsar la aplicación de este tipo de herramientas estadísticas para mejorar los resultados de la cadena de mando en seguridad nacional, en defensa o en gestión de grandes emergencias; pero también en perforaciones petrolíferas, en los parqués financieros o en las subastas.

Aunque el concepto en matemáticas tampoco es tan novedoso. Ya en 1954, el brillante Leonard J. Savage —del que el Nobel de Economía Milton Friedman dijo la célebre frase: “Es una de las pocas personas que conozco de la que diría sin ningún tipo de duda que es un genio”— dio la primera caracterización axiomática completa de la llamada teoría de las decisiones. Y años después, otros expertos, como el también Premio Nobel Daniel Kahneman, estableció, junto con el también estadounidense de origen judío Amos Tversky (que murió antes de recibir el galardón de la Academia Sueca), la base cognitiva de los errores humanos más comunes que surgen a partir de los prejuicios y del sistema de prueba y error (heurística). Su trabajo demostró ser clave para el estudio y la mejora de la toma de decisiones. Finalmente, hace unos cinco años se introdujeron los conceptos del análisis de riesgos adversarios, que incorporan predicciones del comportamiento de adversarios, superando dificultades de la conocida teoría de Juegos, que al margen de su importancia para la estrategia militar durante la Guerra Fría o para el desarrollo de la inteligencia artificial, se popularizó gracias al relato de la vida del matemático



En situaciones de crisis inesperadas, como la del 11-S, es necesario tomar decisiones rápidas y eficaces.

esquizofrénico (también galardonado con el Nobel de Economía), John F. Nash, que escribió la periodista Sylvia Nasar y que fue llevado al cine bajo el mismo nombre: ‘Una mente maravillosa’.

### **Aprendizaje**

Todos sabemos, ante una situación dada, concebir soluciones, predecir sus consecuencias y elegir la mejor de ellas. Esta capacidad, con la que cualquier niño de corta edad experimenta varias veces al día como un juego que forma parte de su aprendizaje vital, es lo que se ha bautizado como toma de decisiones. “Decidir resulta tan connatural y definitorio de la condición humana que podría parecer innecesario dedicar esfuerzos a construir ciencias centradas en el apoyo a la toma

de decisiones y, más extraño aún, darle una fuerte componente matemática”, dice David Ríos, titular de la Cátedra AXA en Análisis de Riesgos Adversarios, en el Instituto de Ciencias Matemáticas (ICMAT), y uno de los mayores expertos internacionales en este campo.

Pero el propio investigador revela al menos tres razones por las que el estudio de la toma de decisiones se hace tan importante. “En primer lugar, todos conocemos personas que toman mejores decisiones que otras y nos gustaría poder extender las capacidades de los buenos decisores al resto de la población”, explica Ríos. Pero, además, todos conocemos ejemplos de malas, incluso nefastas, decisiones a nivel individual, familiar, nacional o interna-



David Ríos, uno de los mayores expertos internacionales en análisis de riesgos adversarios.

cional. Y, finalmente, hay numerosos ejemplos de situaciones en los que, dejados a nuestra intuición, tomamos malas decisiones.

En líneas generales, prácticamente todo el mundo estaría de acuerdo con estos tres puntos de partida para estudiar, usando las matemáticas, los procesos que nos llevan a optar por uno u otro camino ante un problema dado. Pero la necesidad se hace mucho más palpable con un ejemplo concreto. Y en este punto, el matemático David Ríos, propone un experimento que considera típico: un sistema de detección de cáncer de mama puede detectar el 80% de las mujeres con cáncer no diagnosticado, cometiendo errores con sólo el 5% de las mujeres que no tienen cáncer. Se estima que la tasa de cáncer de mama es de 30 casos por 10.000. “¿Cuál sería la probabilidad de que una mujer que dé positivo en el test tenga, de hecho, cáncer? Mucha gente, razonando intuitivamente, cree que esta probabilidad está entre el 70% y el 75%, cuando la verdadera probabilidad está alrededor del 5%, como se sigue de una simple aplicación de la conocida fórmula de Bayes, que describe cómo procesar

de forma óptima la evidencia”, explica el investigador español.

E imaginemos cómo puede multiplicarse el condicionamiento de una decisión, de una respuesta ante un problema, ante una situación de gran emergencia ante un gran desastre nuclear, como el de Chernóbil; un vertido de crudo descontrolado, como el del Golfo de México; o una catástrofe humanitaria, como la que provocó el terremoto de Nepal ocurrido en la primavera de 2015. Hasta el mayor experto tomará decisiones equivocadas en una situación semejante, empujado por los sesgos que le impone su propia experiencia.

### Predicciones

El objetivo es reducir la incertidumbre que siempre hay en torno a cualquier suceso. Lo que buscan los Gobiernos y las instituciones multinacionales en este tipo de modelos matemáticos es precisamente esto, poder predecir cómo se comportará una determinada catástrofe —por ejemplo, hacia dónde se dirigirá un vertido contaminante en el mar debido a las corrientes oceánicas— y qué ocurrirá ante las posibles respuestas que los exper-

tos propongan ante problemas concretos. El objetivo obvio es elegir de todas ellas la más acertada y dejar al albur del azar lo menos posible cuando llegue la emergencia. Pero aunque se haga todo bien, siempre quedará cierto margen de incertidumbre.

“El proceso de toma de decisiones durante una situación de desastre difiere drásticamente de la toma de decisiones convencional”, escribió el investigador del Instituto de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Ciencia y Tecnología de Huazhong (Wuhan, China) Jianshe Dai, en un importante trabajo publicado en la revista *Annals of Operations Research*, sobre métodos de apoyo computerizado para la toma de decisiones ante emergencias. “En las situaciones de respuesta ante una situación grave e imprevista algunos de los atributos más importantes del problema son inciertos, como, por ejemplo, su naturaleza, la escala o el tiempo que durarán”, concluía el trabajo firmado por Jianshe. En este tipo de situaciones, el entorno del problema cambia rápidamente y de forma incontrolable. Además, hay muy poco tiempo para tomar decisiones y hay que hacerlo con información que no está disponible, o, que si lo está, no es fiable. Y, en muchos casos, algunas decisiones críticas que se toman durante la respuesta a una emergencia pueden ser irreversibles.

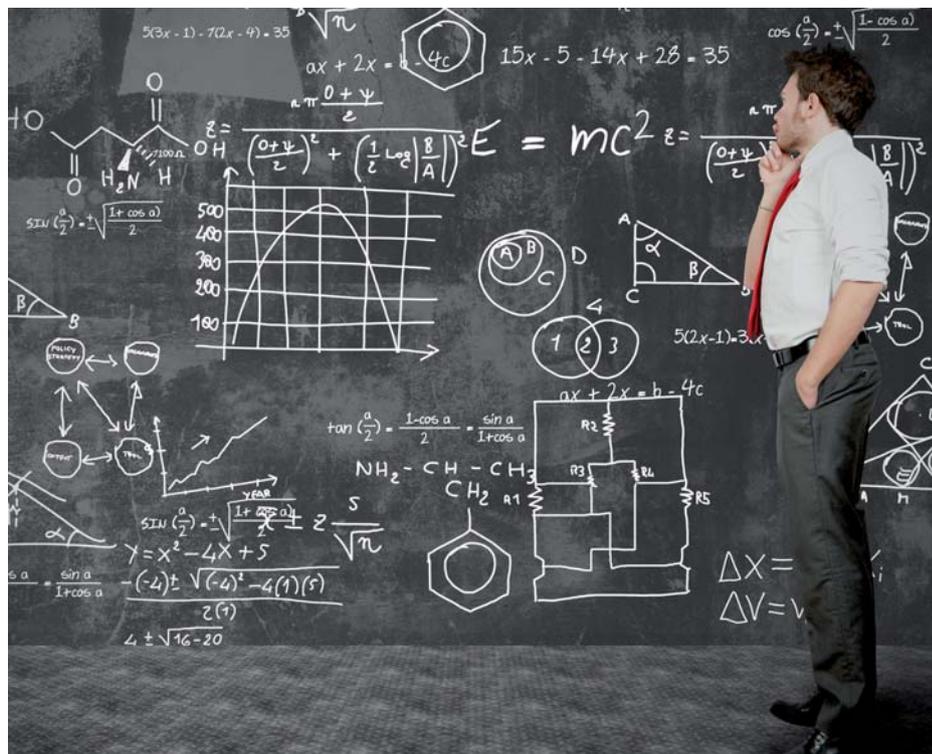
Nada es sencillo en esos momentos. Ni siquiera cuando se está armado con una potente maquinaria matemática o con grandes motores de cálculo en sofisticados superordenadores. Pero la investigación de operaciones, o ciencia de la gestión, como se ha bautizado a este campo científico ha conseguido mejorar en gran medida la reducción de la incertidumbre cuando se precisa una decisión rápida.

El avance de esta disciplina ha conformado tres tipos de aproximaciones a la toma de decisiones. La primera, la aproximación descriptiva, se fija en cómo

tomamos decisiones las personas, siendo los terrenos de la economía y la psicología experimentales los que aportan los datos y su análisis, identificando sesgos y heurísticas típicos de procesos no asistidos de toma de decisiones. La segunda es la llamada aproximación normativa, que parte de unos axiomas ideales de comportamiento para hacer predicciones de cuáles deben ser las decisiones que un agente debería tomar. Se podría decir que este tipo de forma de trabajo es el que se ha abordado desde las matemáticas y desde la economía matemática. Finalmente, los expertos distinguen una última categoría, bautizada como aproximación prescriptiva. “Ésta se centra en ayudar a tomar decisiones a organizaciones, basándose tanto en los resultados experimentales como en las propuestas normativas, conduciendo a una verdadera ingeniería de la decisión”, afirma David Ríos.

El propio Kahneman distinguió entre dos sistemas distintos de pensamiento. El sistema 1 se centra en el nivel intuitivo para la toma de decisiones; rápido y eficaz para situaciones razonablemente conocidas y cotidianas, en el que prevalece la aproximación descriptiva, pero en este caso es necesario intentar mitigar los sesgos y heurísticas que rodean las decisiones. El sistema 2, por el contrario, se centra en los niveles analíticos de toma de decisiones. Es muy útil para situaciones novedosas en las que se dispone de tiempo para hacer un estudio en cierta profundidad y es el terreno de las aproximaciones normativa y prescriptiva.

Y es en este tipo de forma de trabajo en el que entra de lleno la modelización matemática. Pero antes es preciso que se promueva un ciclo de apoyo a la toma de decisiones. Una vez estructurado un supuesto problema, los expertos comienzan a realizar modelos sobre las predicciones de los posibles resultados de las diferentes decisiones posibles me-



Los modelos matemáticos deben contemplar situaciones dinámicas y cambiantes.

dante un modelo probabilístico; es decir, sobre las preferencias y actitudes frente al riesgo de la organización que toma la decisión. Y, una vez realizado este tra-

bajo, los investigadores proponen la decisión de máxima utilidad esperada. “Esta aproximación se ha convertido en un estándar en diversas industrias. Por ejem-

## Poner límites a la incertidumbre nuclear

Quizá una de las situaciones de emergencia que primero vienen a la mente cuando se habla de toma rápida de decisiones es la de un eventual accidente nuclear. Es cierto que los rigurosos, estudiados y ensayados protocolos de actuación ante una posible fuga radiactiva están apoyados por modelos matemáticos de las ciencias de la gestión. El sector nuclear aprende de las situaciones de emergencia vividas en el pasado para mejorar, en los protocolos de actuación, lo que los expertos demuestran que falló en cada caso concreto. Y en el último gran accidente nuclear, el de Fukushima en el año 2011, uno de los aspectos que sin duda falló –según ha reconocido el propio presidente de la Comisión de Investigación del Accidente de Fukushima, Yotaro Hatamura– fueron precisamente algunas de las decisiones tomadas.

Sin embargo, algunos de los mayores expertos mundiales en la modelización matemática para la mejora de la toma de decisiones, como el británico Simon French, de la Universidad de Warwick (Reino Unido), aseguran que podemos estar tranquilos, porque una respuesta tan pobre como la que se dio ante Chernóbil o Fukushima sería hoy en día “muy, pero que muy improbable”, según aseguró durante su presencia en un workshop sobre modelización de opiniones de

plo, Chevron y Exxon, entre otras petroleras, realizan análisis de decisiones antes de perforar un pozo de petróleo; y también Pfizer, Merck y Genentech, antes de financiar un proyecto de desarrollo de un medicamento; y lo mismo Boeing, antes de desarrollar un nuevo tipo de avión -dice Ríos-. En nuestro país, la Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA) también comienza a emplearlo de forma sistemática en sus procesos de planificación”.

En el caso de desastres, desde la actuación después de un ataque terrorista, pasando por una emergencia nuclear o un huracán, tendremos que adoptar distintas decisiones, dependiendo del plazo disponible. “Inmediatamente después del suceso es un momento de decisiones rápidas. Sin embargo, si nos fiásemos de nuestra intuición quedaríamos atrapados por los sesgos y heurísticas”, explica Ríos. La forma de mitigarlos es a través de estudios previos de análisis de decisiones y de riesgos que ayuden a configurar los planes de contingencia más adecuados en



Las decisiones tomadas durante el accidente del Prestige fueron controvertidas.

cada caso. Para lograrlo, los investigadores deben identificar los recursos de seguridad a considerar y sus usos en caso de que se produzca el desastre. Pero también tienen que usar herramientas de simulación que les permitan comprender las consecuencias de los diferentes planes y la elección del mejor de ellos. La última fase es la del ensayo de esos planes

para mejorarlos y mejorar la preparación. El resultado de este tipo de trabajos llega a incluir los sistemas óptimos de gestión de la información y de las comunicaciones, e incluso procedimientos de comunicación que tengan en cuenta los aspectos sociológicos y psicológicos de reacción de la población en tales situaciones, según explica Ríos. ©

expertos celebrado en abril en el Instituto de Ciencias Matemáticas (ICMAT), en Madrid.

Pero no es preciso que se produzca una catástrofe de repercusión mundial para que la modelización matemática se muestre efectiva, incluso aunque lleve a efectuar acciones que no llegan a ser necesarias. El ejemplo clásico de la industria nuclear es el del modo de actuación ante una fuga radiactiva, por pequeña que sea. Los modelos de toma de decisiones pueden llevar a interrumpir la producción de alimentos, a establecer un área de exclusión de grandes dimensiones o incluso a importar agua potable. El propio French reconoce que puede que muchas de estas decisio-



Simon French.

nes no sean del todo necesarias, pero aún así, habrán sido decisiones bien tomadas. ¿Por qué? Porque la prioridad número uno es la seguridad de la población. El coste no importa en esas primeras horas.

Pero, ¿qué determina que nos estamos enfrentando a un gran desastre? ¿Dónde está la línea roja? Los expertos en gestión de situaciones de emergencia aseguran que, desde un punto de vista operativo, la transición hacia una categoría mayor de emergencia ocurre cuando los recursos llegan a ser escasos, cuando es necesario que los procedimientos que se salen de los protocolos estándar entren en funcionamiento para salvar vidas o cuando una autoridad especial tiene que verse involucrada para manejar el suceso. Los investigadores Nezhil Altay y Walter G. Green lo describieron de forma certera -y casi sarcástica- en un trabajo publicado en la Revista Europea de Investigación Operacional: “Es crítico entender que un desastre se convierte en un desastre cuando alguien que está autorizado para decir que una situación es un desastre dice que lo es”. ▶



Miembros de la Unidad Militar de Emergencias participando en la extinción de un incendio forestal.

Una nueva ley moderniza el Sistema Nacional de Protección Civil

## Preparados ante las emergencias

Desastres como el desbordamiento del río Ebro y un gran incendio forestal en Cáceres obligaron en 2015 a poner a prueba los sistemas españoles de respuesta a emergencias, movilizándolo a cientos de efectivos. Una nueva normativa que entra en vigor en 2016 modernizará las actuales políticas preventivas, basadas en una ley de 1985, mejorada desde entonces mediante el desarrollo normativo habi-

tual, en forma de reglamentos y otras normas. El impacto económico de las emergencias y catástrofes en España alcanza los 400 millones de euros anuales, una cantidad escasa gracias a un Sistema Nacional de Protección Civil que, según sus actores, es un modelo para otros países del mundo. ■

Texto: **Manuel Ansede** | periodista científico, redactor de *Materia-El País* ■

**E**l 9 de marzo de 2015, una brutal explosión se registró en la central petroquímica Daimiel Oil Company, en el pueblo castellanomanchego del mismo nombre. Al estallido siguió una marea de hidrocarburos y un grave incendio. La nube tóxica se dirigió a las viviendas del pueblo, puerta del Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel, un humedal único en Europa. Y la catástrofe

tecnológica también afectó a infraestructuras como la red eléctrica, el sistema ferroviario y los gasoductos de la central.

Ante el desastre, la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha decidió activar el Plan Territorial de Emergencias de Castilla-La Mancha (PLATECAM), pero a las pocas horas el Gobierno regional tuvo que solicitar la declaración de emergencia de interés nacional al

Ministerio del Interior. Y se activó el denominado nivel 3, con el que el general jefe de la Unidad Militar de Emergencias (UME) tomó las riendas de la Dirección Operativa de la Emergencia, con todos los actores implicados. Había 200 muertos, 800 heridos y 3.000 evacuados.

En realidad, la Daimiel Oil Company no existe y el 9 de marzo no hubo ninguna explosión, sino el ejercicio anual

Gamma de la UME, sobre una supuesta catástrofe tecnológica. En España no se ha declarado una emergencia de interés nacional en las últimas décadas, pero el simulacro permite entender cómo se activaría la operativa y qué instituciones estarían implicadas.

En el ejercicio participaron 4.000 personas, 2.000 de ellas efectivos de la UME. El resto del personal pertenecía a los cuerpos especialistas en defensa nuclear-biológica-química (NBQ) de las Fuerzas Armadas, a la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, a las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado, a la Cruz Roja, a empresas y a varias organizaciones civiles. Los 4.000 participantes tuvieron que contener los vertidos tóxicos a las puertas de Las Tablas de Daimiel, apagar un incendio descontrolado en medio de una nube tóxica, rescatar a las víctimas en un entorno catastrófico e incluso apuntalar edificios catalogados como Bienes de Interés Cultural.

“Emergencias de interés nacional no ha habido ninguna desde la promulgación de la Ley en vigor de 1985, pero sí ha habido muchas emergencias nacionales, como el incendio de Cáceres, las inundaciones por el desbordamiento del Ebro o, en verano, la Operación Paso del Estrecho, que es la operación más grande a nuestros efectos, ya que implica un dispositivo para la entrada de tres millones de personas en tres meses”, explica el bioquímico Francisco Ruiz Boada, director de la División de Operaciones de la Dirección General de Protección Civil y Emergencias del Ministerio del Interior.

Ruiz Boada, que antaño estuvo al frente de la Subdirección General de Conducción de Crisis de Presidencia del Gobierno, ya no habla de simulacros. El 26 de febrero de 2015, ante el desbordamiento del río Ebro, el Gobierno de Aragón activó el Plan Especial de Inundaciones, un nivel 2 (emergencia nacional), y tras esta alerta se requirió la participa-



Simulacro de emergencia de interés nacional realizado en Daimiel en marzo de 2015.

ción de la UME. La intervención de esta unidad, según el protocolo, debe ser solicitada por el ministro del Interior y ordenada por el Ministerio de Defensa.

Tres de los batallones de intervención de la UME —el inicial de Zaragoza sumado a los procedentes de Madrid y Valencia— se desplegaron en los pueblos de Novillas, Cabañas, Pradilla, Boquiñeni

y Alcalá de Ebro, en la provincia de Zaragoza. Un total de 455 militares, 143 vehículos, media docena de embarcaciones y dos helicópteros participaron en el establecimiento de barreras de contención, en las tareas de achique, en el tapiado de puertas y en la evacuación de las inundaciones de parte de la población de Pradilla. En el polideportivo de la localidad



Francisco Ruiz Boada, director de la División de Operaciones de Protección Civil y Emergencias.

## Alerta nuclear

“Todas las centrales nucleares realizan un simulacro anual de su plan de emergencia interior. El Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) aprovecha estos simulacros para ejercitar su capacidad de respuesta”, explica Alfredo Mozas, coordinador técnico en la Subdirección de Emergencias y Protección Física del CSN. Uno de los últimos grandes simulacros, recuerda, fue el llevado a cabo el 5 de noviembre de 2013 en la central de Almaraz (Cáceres). Entonces, se simuló un gran accidente con fuga radiactiva a la atmósfera, que motivó la

activación del Plan de Emergencia Nuclear Exterior a la Central Nuclear de Almaraz (PENCA) y el Plan de Emergencia Nuclear del Nivel Central de Respuesta y Apoyo (PENCRA).

Como se haría en cualquier emergencia similar, según detalla Mozas, se constituyó un Centro de Coordinación Operativa (CECOP) en la Subdelegación del Gobierno de Cáceres, como órgano ejecutivo del PENCA, y un Comité Estatal de Coordinación de Riesgo Nuclear (CECO), localizado en la sede de la Dirección General de Protección Civil y Emergencias del Ministerio del Interior, en Madrid. La directora del PENCA, la

subdelegada del Gobierno en Cáceres, María Jerónima Sayagués, declaró el control de los accesos a los municipios ubicados a 10 kilómetros a la redonda en torno a la central. En todo momento, la Sala de Emergencias del CSN (SALEM) y la Sala Nacional de Emergencias de la Dirección General de Protección Civil (SACOP) hicieron un seguimiento simulado de la emergencia.

La Red de Alerta a la Radiactividad de la Dirección General de Protección Civil y Emergencias, con más de 900 estaciones fijas por toda España, permitiría un seguimiento permanente de la evolución de la radiación gamma atmos-



En el ámbito nuclear y radiológico se realizan ejercicios internacionales denominados INEX. La imagen corresponde al INEX-4.



Simulacro radiológico protagonizado por la unidad militar especializada NRBQ.

férica provocada por la supuesta fuga radiactiva.

Además, desde octubre de 2015, tras realizar prácticas en todas las centrales nucleares de España, la Unidad Militar de Emergencias (UME) cumple los requisitos para intervenir en cualquiera de ellas en caso de emergencia. Los efectivos de la UME han participado en simulaciones de incendios graves, ejercicios de descontaminación y prácticas de medición de radiación con técnicos del CSN y personal de las propias instalaciones. ■

de Luceni, la UME preparó para Cruz Roja Española un albergue con capacidad para 60 damnificados.

Ruiz Boada también recuerda el incendio forestal de agosto en Cáceres, que requirió el despliegue simultáneo de media docena de Secciones de Intervención de la UME, formadas por 331 militares y 86 vehículos, coordinados con cuatro hidroaviones del 43 Grupo del Ejército del Aire. El incendio, calificado también como nivel 2 (emergencia nacional) al desbocarse por las rachas de viento, se declaró en la localidad cacereña de Acebo el 6 de agosto y muestra de nuevo la compleja coordinación de una operativa de esta envergadura.

El Plan Territorial de Protección Civil de Extremadura obligó a evacuar a 1.400 personas en las localidades de Acebo, Perales del Puerto y en dos campings en Gata y en Hoyos, la noche del 6 al 7 de agosto. Como indicó la Junta de Extremadura, el operativo preventivo de evacuación incluyó seguridad, transportes, diseño de itinerarios, atención médica y acogida de los 1.400 evacuados en varias instalaciones municipales de Moraleja y

en el Centro de Formación de Tropas de Cáceres.

La delegada del Gobierno, Pilar Nogales; el consejero de Medio Ambiente y Rural, Políticas Agrarias y Territorio, Santos Jorna; y el gerente del Servicio Extremeño de Salud, Ceciliano Franco, supervisaron el operativo durante la madrugada desde la sede del 112 en Mérida, en coordinación con la Guardia Ci-

vil, la Cruz Roja de Extremadura y el 112 extremeño. Mientras, los miembros del Plan de Lucha contra Incendios Forestales de Extremadura (el Plan INFOEX) luchaban contra las llamas en el bosque sin medios aéreos, por la nula visibilidad. A este equipo se unieron los efectivos de la Diputación de Cáceres y de la UME, que lograron evitar una tragedia mayor en la Sierra de Gata.



La Unidad Militar de Emergencias es el principal ejecutor de las operaciones de Protección Civil.

“Protección Civil es un concepto. Coordinamos la dirección en caso de emergencia nacional (nivel 2) o de interés nacional (nivel 3). Protección Civil es el sumatorio de bomberos, policías, sanitarios, UME... En caso de situación declarada de nivel 3, el propio ministro del Interior cogería las riendas”, detalla Ruiz Boada.

“Para nosotros, el riesgo más preocupante es un gran terremoto”, reconoce el director de la División de Operaciones de Protección Civil. Ruiz Boada confiesa que tienen en mente los efectos en España del terremoto de Lisboa del 1 de noviembre de 1755. El sismo, de magnitud 8,5, generó un tsunami de casi 15 metros de altura y afectó a Europa occidental y al norte de África. En Coria (Cáceres), el terremoto provocó la caída de la torre de la catedral, cuyos fragmentos mataron a 21 personas. Y el maremoto se llevó por delante la vida de más de 1.200 personas en las costas de Cádiz y Huelva, según las estimaciones del Instituto Geográfico Nacional.

El 20 de noviembre de 2015, recuerda Ruiz Boada, el Consejo de Ministros aprobó, mediante un Real Decreto, la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Maremotos, que abarca los 7.880 kilómetros de costa española. “Las hipótesis son hipótesis, pero por si acaso se ha aprobado la Directiva Maremotos”, subraya el bioquímico.

No es el único ni el principal cambio legislativo. La nueva Ley del Sistema Nacional de Protección Civil, que sustituye a la de 1985, entrará en vigor en enero de 2016 para mejorar la “protección de los ciudadanos ante emergencias y catástrofes”, según el Ministerio del Interior.

Como novedades, la nueva Ley crea un Consejo Nacional de Protección Civil “como elemento de cooperación permanente entre la Administración General del Estado y las Administraciones autonómicas y locales”, según el gabinete de



El comandante Javier Marcos, portavoz de la Unidad Militar de Emergencias.

Jorge Fernández Díaz. La nueva normativa apuesta además por la formación. La Escuela Nacional de Protección Civil se encargará de entrenar y formar a los trabajadores de los servicios de protección civil de la Administración General del Estado y de otras instituciones públicas y privadas.

Y, por fin, “la nueva ley incorpora a la UME”, según subraya Ruiz Boada. La Unidad Militar de Emergencias fue creada el 7 de octubre de 2005 por el Gobierno de José Luis Rodríguez Zapatero y en estos 10 años ha hecho honor a su lema: “¡Para servir!”. Sus miembros, procedentes del Ejército de Tierra, de la Armada y del Ejército del Aire, han participado en más de 300 intervenciones. Cada verano, la UME mantiene a 1.500 militares listos para combatir directamente los incendios forestales, más otros 1.500 de apoyo.

“Tras 10 años, hacemos un balance positivo. Tenemos al 100% nuestras ca-

pacidades frente a incendios forestales, inundaciones, rescates, sismos y riesgos NBQ. Y trabajamos en otras capacidades, como accidentes de aviones y de trenes”, sostiene el comandante Javier Marcos, portavoz de la UME.

Este comandante aclara que, pese a la aparente complejidad del mecanismo de la UME, el proceso es fugaz. “Según el procedimiento normal de activación, la Comunidad Autónoma alerta al Ministerio del Interior, que avisa al Ministerio de Defensa, que se comunica con el JEMAD (Jefe de Estado Mayor de la Defensa), que activa a la UME. La comunicación se realiza en cuestión de cinco minutos y nosotros estamos como máximo en cuatro horas desplegados en el lugar de la emergencia”, presume Marcos.

### Un modelo internacional

La clave, señala el comandante, es la anticipación. “Tenemos una alerta temprana



Entre las actividades necesarias ante ciertas emergencias se incluye la habilitación de infraestructuras dañadas.

na. Cuando sabemos que nos pueden alertar, ya estamos preparados. Es preferible darse la vuelta sin que te hayan llamado a llegar tarde”, opina. Marcos cree que tanto la UME como el sistema español de protección civil son un modelo para otros países. “Hemos tenido visitas de 44 países interesados en nuestro modelo de emergencias. Nuestro sistema se está exportando a Marruecos y a países iberoamericanos”, detalla.

En el simulacro de emergencia de interés nacional realizado en marzo en Daimiel, por ejemplo, participaron de forma activa dos centenares de militares procedentes de unidades de intervención de Francia, Estados Unidos y Marruecos. Y en el ejercicio también estuvieron presentes observadores de la Unión Europea, de la Organización de Estados America-

nos y de Brasil, Portugal, Argelia, Túnez, Colombia y Perú.

La Ley del Sistema Nacional de Protección Civil que entrará en vigor en 2016 establece que la UME, en caso de emergencia de interés nacional, asumirá la dirección operativa de la misma, actuando bajo la dirección del ministro del Interior. La normativa también señala que el Ministerio del Interior “recabará y movilizará los recursos del Sistema Nacional para prevenir y afrontar situaciones de catástrofes en terceros países, cuando sea procedente en virtud de los tratados internacionales y convenios bilaterales suscritos por España”, o cuando lo acuerde el Gobierno a propuesta de los ministros de Asuntos Exteriores y del Interior.

“Hay 40 personas en cada batallón de la UME preparadas en todo momento,

las 24 horas del día, los 365 días del año, para salir a cualquier país que lo necesite y lo pida. Nepal y Haití han sido los dos que lo han necesitado de momento”, explica el comandante Marcos.

Cuando se aprobó el Anteproyecto de Ley del Sistema Nacional de Protección Civil, el 29 de agosto de 2014, el Ministerio del Interior explicó en un comunicado que el impacto económico de las emergencias y catástrofes en España se reducía a unos 400 millones de euros anuales, según los cálculos del Consorcio de Compensación de Seguros. “España es un país que no sufre comparativamente grandes pérdidas económicas por causa de las emergencias y catástrofes, y ello es debido al efecto de las políticas preventivas que se llevan a cabo desde hace muchos años”, sacó pecho el Ministerio. ©



El equipo de la Subdirección de Tecnologías de la Información del CSN.

## Subdirección de Tecnologías de la Información, un proceso continuo de innovación

Los humanos hemos estado almacenando, recuperando y transmitiendo información desde que los sumerios, en Mesopotamia, desarrollaran la escritura cerca del 3000 a. C., pero el término *tecnología de la información* hizo su primera aparición en 1958. En un artículo publicado en la revista Har-

vard Business Review, sus autores, H. Leavitt y T. Whisler, señalaron: “La nueva tecnología no tiene aún un nombre establecido, deberíamos llamarla tecnología de la información”.

■ Texto: **Vanessa Lorenzo López** | Área de Comunicación del CSN ■

Las conocidas como Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) juegan un papel fundamental para cualquier empresa u organismo. En el caso del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), la Subdirección de Tecnologías de la Información (STI) se encarga de proporcionar el conjunto de recursos tecnológicos para la comunicación, procesamiento, almacenamiento, transmisión y seguridad de la información necesarios para una mejor gestión de las múltiples actividades que se llevan a cabo. Para un organismo de puertas abiertas y

servicio al ciudadano, como es el CSN, las TIC suponen una herramienta clave en la comunicación con el público.

La STI está compuesta por dos áreas: Sistemas y Comunicaciones (SICO) y Desarrollo de Aplicaciones (DESA). Un tercer aspecto que sigue un modelo transversal es la Seguridad de la Información, regulada en la Política de Seguridad de la Información del CSN. Planificar y gestionar la infraestructura de TIC de una organización es un trabajo complejo, y si a ello añadimos la continua evolución de estas tecnologías, resulta imprescindible

mantener el conocimiento de todos los miembros del equipo, de modo que puedan ofrecer al resto del organismo la mejor calidad y seguridad en el manejo de los instrumentos informáticos necesarios para facilitar la misión del CSN. Su modelo de desarrollo está fundado en una sistematización de los procesos y en el chequeo previo de la calidad de la decisión.

El área de SICO tiene como función principal proporcionar la infraestructura física de sistemas y comunicaciones necesaria para soportar las aplicaciones corporativas y los procesos TIC del

Manuel J. Malavé de Cara, subdirector de Tecnologías de la Información

## “El modelo de madurez de la STI se alinea explícitamente con los objetivos estratégicos del CSN”

Licenciado en Ciencias Físicas y diplomado en seguridad nuclear por el MIT, Manuel Malavé trabajó siete años como ingeniero de reactor en las centrales nucleares de Garoña, Cofrentes y Valdecaballeros. En el Ciemat ejerció como responsable del programa de riesgo industrial y APS. Funcionario del Cuerpo de Seguridad Nuclear y Protección Radiológica desde 1991, ha sido inspector de Experiencia Operativa, consejero técnico de I+D+i y asesor-jefe de Relaciones Internacionales e Institucionales. También ha trabajado como ingeniero en INSALUD y en IBERIA. Ha sido presidente del grupo de expertos en Seguridad Nuclear de la UE para la ampliación a 27 y presidente de grupo en la 2ª Convención de Seguridad Nuclear, entre otras cosas. Actualmente es subdirector de Tecnologías de la Información del CSN.

**PREGUNTA:** Desde su llegada a la STI, ¿Cuáles han sido los proyectos más significativos que ha liderado?

**RESPUESTA:** Hay dos muy destacables, uno sobre Política de Seguridad de la Información en el ámbito de la administración electrónica y otro sobre el Plan de Continuidad de Actividades del CSN. Ambos llevan asociadas multitud de acciones que en conjunto garantizan la seguridad de las actuaciones y comunicaciones entre el CSN, las instalaciones nucleares y los ciudadanos, tanto en operación normal como en emergencia.

El CSN está inmerso en un proceso continuo de innovación tecnológica que abarca desde la renovación de los servicios y aplicaciones de la Salem hasta la implantación de nuevos métodos de autenticación y firma más allá de la certificación digital, pasando por una optimización de la gestión de contenidos y flujos de trabajo digitales técnicos y administrativos y la utilización del *cloudcomputing*. La gestión del conocimiento es también una importante tarea en la que la STI juega un rol básico. Otro ejemplo de innovación continua es la sede electrónica del CSN en cuanto al uso amigable y seguro de los 51 servicios telemáticos disponibles, que procesan unas 6.000 transacciones de información y datos al año; también el Sistema de Gestión de Segu-



ridad de la Información (SGSI) para permitirnos conocer los riesgos a los que están sometidos nuestros datos, información y servicios, y asumirlos, minimizarlos, transferirlos o controlarlos mediante una operativa definida, documentada y conocida por toda la organización, lo que tiene que ser revisado y mejorado de forma continua. En general, el modelo de madurez de la STI se alinea explícitamente con los objetivos estratégicos de CSN.

**P:** ¿Cómo se aborda algo tan sensible como la seguridad informática?

**R:** Es un área de trabajo muy importante que se desarrolla bajo el paraguas del documento de Política de Seguridad de la Información. Se dedica a la protección de la infraestructura informática, redes, comunicaciones, almacenamiento y aplicaciones del CSN, especialmente, con la información contenida en sus sistemas. En otras palabras, la seguridad de las tecnologías de la información se ocupa de diseñar las normas, métodos y técnicas dirigidos a proveer condiciones seguras y confiables para el procesamiento de datos en nuestros sistemas. El documento de Política de la Seguridad desarrolla principios que sustentan objetivos como: confidencialidad, referido a protección de la privacidad de los elementos de información almacenados y procesados; integridad, sobre la validez y consistencia de esos elementos; disponibilidad, es decir la continuidad del acceso; trazabilidad, que es una propiedad consistente en que las actuaciones del CSN son imputables al CSN y cualquier actuación queda registrada; y finalmente autenticidad, que asegura las identidades.

Esta política garantiza la coherencia de normas, procedimientos, medidas de seguridad y demás actuaciones en todos los ámbitos (legislación nacional, sectorial e interna), bus-

cando siempre la uniformidad y la sencillez de la gestión. No basta con adquirir tecnología y sistemas de protección, lo más importante es concienciar a la dirección y al personal sobre la alta incidencia de sus propias actuaciones, para que la estrategia de seguridad esté completa. De hecho el respaldo por parte de la dirección es una condición necesaria para el éxito y así se está haciendo por parte de este Pleno del CSN.

Finalmente y dado que la seguridad nunca es total ni absoluta, es necesario determinar de manera fiable los riesgos a los que estamos expuestos, en qué medida lo estamos y cuáles son las consecuencias. Y eso es lo que hacemos desde la STI. El área DESA interviene en todo el ciclo de vida del desarrollo del software, y especialmente en la confidencialidad de la información tratada, dada la naturaleza de esta organización.

**P: ¿A qué retos más inmediatos se enfrenta la STI?**

**R:** En seguridad las tareas relacionadas son continuistas de las de los últimos años, con objeto de garantizar la conti-

nuidad de la misión del CSN en sistemas de información ante incidentes que supongan la pérdida total o parcial de las instalaciones de nuestra sede. Los retos pasan por la modernización de las aplicaciones de primera generación, que datan de los noventa, la actualización tecnológica a nuevos paradigmas de desarrollo, la mejora en la seguridad y la implantación en el servicio de una metodología sólida y eficaz.

Otra tarea inmediata es mantener los sistemas del organismo en un nivel de operatividad y seguridad acorde con las necesidades de las aplicaciones que soportan, lo que obliga a su renovación cuando lo exige el estado de la tecnología; una tarea que nunca termina. Por ejemplo, continuar implementando las previsiones del Esquema Nacional de Seguridad y de la Política de Seguridad del organismo, participar y colaborar con otras áreas en la implantación de la red segura del CSN y completar la renovación y modernización de los centros de contingencia del CSN y de la Salem. 

organismo. Ello supone actuar principalmente en tres ámbitos: el Servicio de administración y explotación, encargado entre otras cosas del correcto funcionamiento de los servidores, correo electrónico corporativo, copias de seguridad, sede electrónica, etc.; el servicio de redes y comunicaciones, responsable de la red local y de comunicaciones de emergencia, de los accesos a Internet, de los diferentes sistemas que velan por la seguridad de las comunicaciones, etc.; y, por último, el personal del servicio de-

microinformática, que se ocupa del parque ofimático y, en general, de prestar soporte técnico a los usuarios internos.

Por su parte, DESA cuenta con un modelo de desarrollo basado en una externalización parcial. El personal del CSN posee el conocimiento funcional de los procesos y sistemas y ejerce la dirección de los proyectos y la interacción con los usuarios; mientras que la programación la llevan a cabo empresas especialistas en las tecnologías empleadas.

Dentro del sistema de información

interna del Consejo, su intranet nace como una herramienta de acceso a todas las aplicaciones y vehículo de comunicación entre el personal. En ella encontramos aplicaciones de gran uso como son el Portal del empleado, que recoge todos los procesos administrativos que afectan a los trabajadores, y las aplicaciones técnicas dedicadas a la gestión de las instalaciones nucleares y radiactivas.

### **La seguridad de la información**

Un aspecto prioritario para la STI, que afecta a todos los ámbitos de actuación del departamento, es el de la seguridad. “Se trata de una tarea continua, en la que se han de evaluar permanentemente los riesgos e implementar las medidas que permitan asegurar un nivel de protección adecuado en todos los sistemas”, asegura Manuel Malavé, responsable de la STI.

Un elemento que evalúa de forma continua este aspecto es el Análisis Continuo de Riesgos, el cual ha mostrado cómo el CSN mantiene un nivel de seguridad de la información global por encima de la media del resto de organismos de la Administración General del Estado. 

## **Nueva web del CSN**

Uno de los logros más destacados de 2015 ha sido la renovación de la página web del CSN, herramienta básica dentro de la política de transparencia y comunicación del organismo regulador. Tras un trabajo intenso, largo y minucioso, el portal se presenta con una nueva arquitectura de contenidos, un diseño más actual y una información más ágil para el ciudadano. Todos los datos y documentos de la antigua web han sido trasladados a una plataforma tecnológica adecuada a las nuevas tendencias. A través de la web institucional los ciudadanos pueden acceder a la Sede Electrónica u Oficina Virtual, lugar desde el que se pueden iniciar 54 tipos de servicios o consultas. A lo largo del año se alcanzan más de 6.000 transacciones telemáticas. 

# Reacción en cadena

## NOTICIAS

### Láseres para el futuro de Europa

Los láseres están adquiriendo una creciente importancia en muy variados ámbitos, incluyendo el energético y el industrial, donde han permitido numerosas aplicaciones. Ello es posible por el enorme desarrollo que han tenido en los últimos años, que han permitido incrementar su potencia y su control. Europa pretende liderar el futuro de esta tecnología y ha puesto en marcha el ELI (Extreme Light Infraestruc-

ture), el primer centro de investigación europea que tendrá tres sedes, ubicadas en tres países de la UE, República Checa, Hungría y Rumanía, complementarias. La primera de ellas, situada en las cercanías de Praga, fue inaugurada el pasado mes de octubre, mientras avanzan las obras en las otras dos.

Los objetivos de ELI incluyen la investigación en física básica, ciencia de materiales y la aplicación de las tecnologías láser en diversos campos de interés, como los ámbitos industrial, médico y energético, así como la gene-



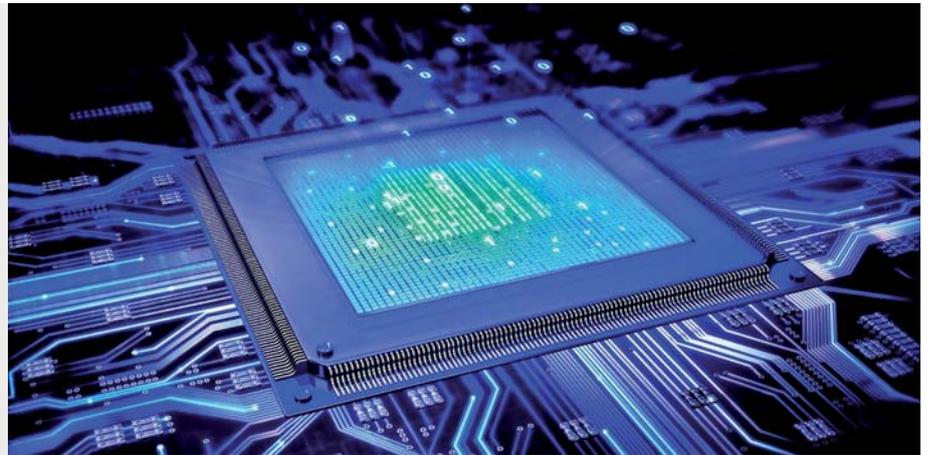
IGNACIO F. BAYO

ración de partículas de alta energía, rayos X y rayos gamma. El láser está considerado como uno de los factores tecnológicos más importantes para el futuro y las instalaciones de ELI permitirán avanzar en su conocimiento y utilización con equipos de

mucha mayor energía e intensidad que los actuales, y podrá producir pulsos ultracortos, en torno a un attosegundo (una trillonésima de segundo), lo que permitirá observar la dinámica atómica y molecular en procesos físicos y químicos. ▶

### Los límites de la Ley

Una de las predicciones científico-tecnológicas más populares es la que estableció Gordon Moore, uno de los fundadores de la empresa Intel, en abril de 1965, conocida como Ley de Moore, que establece que la capacidad de los procesadores, medida por el número de transistores que lo integran, se duplica cada periodo de entre un año y dos. Hasta ahora, en el medio siglo transcurrido desde entonces, se ha venido cumpliendo con una regularidad casi matemática, pero todo parece indicar que pronto dejará de hacerlo. El proceso de creciente miniaturización de componentes electrónicos se ha ralentizado al aproximarse a los tamaños nanométricos (aproximadamente el que tienen las moléculas). Intel tenía previsto dar el

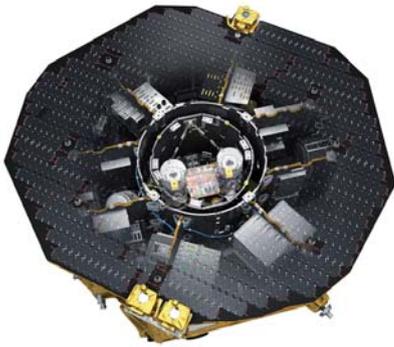


salto a los procesadores de 10 nanómetros en 2016 pero ha postergado su consecución hasta, al menos, finales de 2017. Conseguir mantener el ritmo marcado durante el pasado medio siglo necesita de un salto cualitativo, que probablemente vendrá de la mano de la computación cuántica. La predicción original, que era de la

duplicación de la capacidad cada año, tuvo que ser redefinida en 1975, dejándolo entre 18 meses y dos años, y ahora deberá ser de nuevo modificada. El propio Moore ya advirtió que su predicción tendría inevitablemente un límite y recientemente ha reconocido que ese límite está ya muy cerca de alcanzarse. ▶

## En busca de las ondas gravitacionales

Consecuencia de la teoría general de la relatividad, que acaba de cumplir un siglo de existencia, las ondas gravitacionales son aún un reto para los científicos, ya que su existencia solo se ha podido comprobar de forma indirecta. Y es que sus efectos son tan minúsculos que las ondas provocadas por una pareja de agujeros negros solo provocarían una elongación menor al tamaño de un átomo en un objeto de un millón de kilómetros de longitud. Para el año 2034, la Agencia Espacial



Europea pretende lanzar la sonda espacial eLISA, diseñada para detectarlas y estudiarlas directamente gracias a un sofisticado sistema. Para probar la idoneidad de esa tecnología, el pasado 3 de diciembre se lanzó al espacio la sonda LISA Pathfinder, en cuyo interior transporta dos cubos idénticos de una aleación de

oro y platino y de un tamaño de 46 mm de lado, separados entre sí 38 cm, que se mantendrán aislados de todo tipo de fuerzas excepto la gravedad, a 1,5 millones de km de la Tierra y en dirección al Sol, en el punto denominado Lagrange 1. Su estado y posición será monitorizado de forma continua para detectar cualquier mínima alteración. En la misión participan investigadores españoles del Instituto de Ciencias del Espacio (CSIC-IEEC), que han desarrollado el ordenador, los sistemas de diagnóstico y el software de control de ambos. ▶

## LIBROS

### Historia mínima del Cosmos. La historia de todo lo que existe, desde el big-bang a hoy, y cómo lo hemos sabido.

**Manuel Toharia**

**Editorial Turner, 2015.**

Desde muy antiguo, el hombre se ha preguntado por el origen y posible fin de todo lo que existía. Su curiosidad ha permitido reconstruir hacia atrás la historia del Universo, incluido el espacio y el tiempo. Hoy podemos establecer un relato aproximado del devenir del Cosmos, desde el lejano Big Bang hasta nuestros días. El autor, el célebre divulgador español Manuel Toharia, desgrana aquí los conceptos básicos de la cosmología, pasando por la explicación accesible de qué es la energía, qué es el espacio, qué es el tiempo, qué es la física cuántica y qué términos usa la ciencia para analizar el Universo. Una historia breve, amena y comprensible para todo el que haya mirado al cielo preguntándose quiénes somos, de dónde venimos, y qué habrá más allá de las estrellas. ▶



## EFEMÉRIDES ▶ HACE 100 AÑOS...

### Los continentes se mueven

Un joven meteorólogo alemán, llamado Alfred Wegener, sorprendió a los geólogos con una propuesta atrevida: los continentes se desplazan y África estuvo unida en el pasado a América del Sur. En 1915 publicó "El origen de los continentes y océanos" con su hipótesis, tras años de ir recopilando pruebas, estudiando las estructuras geológicas y los restos fósiles del este de África y el oriente de América del Sur. Las ideas que exponía en su obra contradecían de forma tan radical lo que los expertos tenían como paradigma que a pesar de las pruebas que Wegener aportó, no las aceptarían hasta que, casi medio siglo después, se encontraron nuevas e irrefutables pruebas en el fondo del océa-

no. Con el nombre de tectónica de placas, su teoría de la deriva continental, actualizada, es hoy el fundamento de las ciencias de la Tierra. ▶



## AGENDA

**V Curso de divulgación “Los avances de la química y su impacto en la sociedad”**

Del 26 de noviembre de 2015 al 28 de abril de 2016. Jueves a partir de las 18 horas.

**Salón de actos del Centro de Química Orgánica Manuel Lora Tamayo (CSIC).**

Juan de la Cierva 3 de Madrid

Tras el éxito alcanzado por las cuatro ediciones precedentes, se ha abierto este curso dedicado a dar a conocer los avances de la investigación en química y su impacto en el bienestar humano. El curso, dirigido por el químico y divulgador Bernardo Herradón, consta de 17 conferencias, impartidas por relevantes especialistas españoles, incluyendo galardones con el Premio Nacional de Investigación y con el premio Jaime I. Además, se celebrarán dos mesas redondas, una dedicada a la enseñanza de la química y otra a debatir sobre ciencia, arte y literatura.

El curso, de carácter muy divulgativo aunque riguroso, está dirigido a un público general y no se necesitan conocimientos previos de química. Los temas tratados abarcan áreas como la ciencia de



materiales, la química y la energía, el desarrollo de fármacos, la toxicología e incluso la enología. Los organizadores consideran que puede ser muy útil para estudiantes y profesores de secundaria, como complemento a los temas tratados en el currículo oficial de la segunda etapa de la ESO y del Bachillerato. La asistencia es gratuita y al final del curso se entrega un diploma acreditativo de asistencia. Pueden seguirse las charlas y debates por *streaming* a través de [cumfy.com](http://www.losavancesdelaquimica.com/) y también obtener copias de las conferencias en <http://www.losavancesdelaquimica.com/>.

**Exposición “SOS: La ciencia de prevenir”**

Hasta enero de 2017

**Parque de las Ciencias**

Avda. de la Ciencia s/n. 18006 Granada

El Parque de las Ciencias de Granada ha

inaugurado una exposición temporal, de producción internacional, que ocupa 2.000 m<sup>2</sup> y está dedicada a los riesgos que comprometen nuestra seguridad y lo que la ciencia y la tecnología hacen para prevenirlos y minimizarlos, además de mostrar qué podemos hacer en nuestro comportamiento cotidiano para evitarlos.

Repleta de objetos originales, maquetas, audiovisuales, simuladores y otros recursos expositivos, la muestra aborda los peligros que nos acechan en todo tipo de ámbitos. Para empezar, se tratan los riesgos naturales, como volcanes, terremotos, tsunamis y huracanes; después la exposición afronta los peligros relacionados con el fuego, incluyendo los incendios forestales, los urbanos y los caseros; a continuación se abordan los riesgos industriales, como los del sector químico, el extractivo, el petrolero y el nuclear; también se dedica una sección al sector del transporte en todos sus campos: marítimo, ferroviario, terrestre y aéreo. La exposición finaliza con un apartado dedicado al factor humano, cuyo comportamiento ante una catástrofe es impredecible y abarca todo tipo de respuestas, desde la heroicidad hasta el pánico, resultando decisivo en la gestión de este tipo de eventos.

## LIBROS

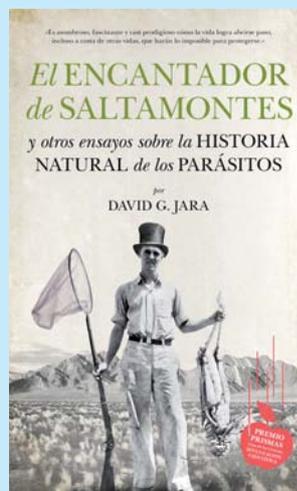
**El encantador de saltamontes y otros ensayos sobre la historia natural de los parásitos.**

**David G. Jara**  
**Editorial Guadalmazán,**  
**2015.**

Este libro fue premiado con el Prisma Casa de las Ciencias de Divulgación Científica de 2014, en el aparta-

do de textos inéditos, lo que avala su contenido. Su autor nos sumerge en un conjunto de historias que muestran la enorme variedad de comportamientos que los seres vivos han desarrollado para sobrevivir... a costa de los demás.

El parasitismo no solo es origen de enfermedades, también es un compendio de las estrategias



adoptadas por algunas especies para adaptarse a las características de otras y a la coevolución que ello propicia. Escrito de forma muy amena y entretenida, el libro se lee como una obra de ficción y nos ilustra acerca de algunos de nuestros enemigos más pequeños e insidiosos, desde los piojos al ébola, y cómo evitarlos.

## Astrónomo profesional en horas libres

Ya no es necesario comprarse un telescopio de mayor o menor calidad y huir de las aglomeraciones urbanas para otear el cielo nocturno, como hacen los astrónomos aficionados tradicionales. Cualquiera puede utilizar un telescopio profesional ubicado en alguno de los grandes observatorios internacionales gracias al proyecto europeo Gloria (Global robotic telescope intelligent array for e-science),

idea de la inteligencia colectiva, una especie de wikiastro-nomía, pensando que la participación de muchos permite avanzar más y más rápido en el conocimiento del universo y sus fenómenos.

Los participantes, que deben darse de alta en el sistema, pueden apuntarse a investigar en alguno de los experimentos propuestos y que ya están en marcha, entre los que se encuentran el estudio de la actividad solar, la observación de eclipses y la detección y caracterización de estrellas varia-



D. PADRÓN / IAC3ES

puesto en marcha en octubre de 2011 y financiado por el VII Programa Marco europeo. Y hacerlo cómodamente desde su casa, sentado ante el ordenador. El proyecto, que busca por un lado complacer a los aficionados y por otra aprovechar mejor las observaciones, se fundamenta en la

bles, entre otros; y también proponer nuevas líneas de investigación. Después, deberán solicitar tiempo de observación en alguno de los telescopios, dentro de un programa que gestiona la asignación de turnos de los diferentes usuarios. El proyecto empezó con cinco telescopios, uno de ellos

solar, al que se sumaron posteriormente otros ocho. Cinco de ellos están situados en España, tres en Chile, uno en Argentina, dos en la República Checa, uno en Sudáfrica y

otro en Rusia. Para registrarse y para obtener más información, incluido el acceso a los resultados obtenidos hasta ahora, hay que acceder a: users.gloria-project.eu. ▶

## REDES



### Experimentos con huevos para hacer en casa

#### #WasabySajado

Cómo ver un huevo por dentro con un puntero láser, cómo hacer una tortilla sin abrir el huevo, cómo separar la yema de la clara con ayuda de una botella... Wasaby Sajado comparte vídeos donde propone muchos otros experimentos caseros sorprendentes y divertidos.

### De lo minúsculo a lo gigantesco

#### #Eamesoffice

Entre otros muchos vídeos se encuentra aquí "Potencias de diez", uno de los documentales divulgativos más famosos de la historia, producido en 1977 y actualizado en 2010. En 9 minutos nos lleva desde los confines del átomo hasta el universo completo, en sucesivos pasos que van multiplicando la escala por diez.



### Ciencia fascinante

Con más de 22 millones de seguidores, *I Fucking Love Science* es una de las estrellas de la divulgación científica a través de Facebook, gracias a sus sorprendentes noticias, fotos, vídeos, consejos y comentarios.

### Paisajes de ensueño

Para disfrutar de las mejores fotografías de naturaleza vale la pena buscar y seguir *Amazing Landscapes, Nature, Animals and Places*.



### Tuits de altos vuelos

#### @SEO\_BirdLife

La Sociedad Española de Ornitología es la mejor fuente de información para estar al día en el mundo de la ornitología, sus curiosidades y los riesgos que amenazan la avifauna. ▶

# Panorama



## El CSN organiza el IV seminario internacional sobre seguridad nuclear Asia-Europa

El Consejo de Seguridad Nuclear organizó los días 29 y 30 de octubre el IV Seminario sobre seguridad nuclear de la Reunión Asia – Europa (ASEM), dedicado a “La gestión del conocimiento para mejorar la Seguridad Nuclear”. La reunión, a la que asistieron 120 representantes de 40 países, fue inaugurada por el presidente del CSN, Fernando Marti Scharfhausen, junto al secretario de Estado de Energía, Alberto Nadal, el representante de la presidencia luxemburguesa del Consejo

de la Unión Europea, Patrick Majerus, el subdirector general de Energía y Seguridad de la Comisión Europea, Gerassimos Thomas, y el director general adjunto de Seguridad Nuclear del OIEA, Juan Carlos Lentijo.

Marti Scharfhausen explicó las funciones del CSN y su participación en las plataformas internacionales del ámbito nuclear y radiológico e hizo hincapié en la importancia de ASEM para fomentar el diálogo y la colaboración en áreas de

interés mutuo entre los países europeos y asiáticos. También destacó la importancia de las jornadas para compartir experiencias y lecciones aprendidas, identificar y abordar retos potenciales y definir futuras líneas de trabajo en torno a la gestión del conocimiento.

Durante la clausura intervino el consejero Fernando Castelló, quien destacó que la participación en las actividades internacionales, la cooperación y la mejora continua en las revisiones inter pares, son características estrechamente vinculadas entre sí y muy necesarias para ser un regulador eficaz.

Dentro de estas jornadas se desarrollaron los pilares de una gestión del conocimiento integral, como son el desarrollo de recursos humanos, la educación, el entrenamiento, la propia gestión del conocimiento y las redes de colaboración.

ASEM nació en 1996, como un punto de encuentro para fomentar el diálogo y la cooperación entre países europeos y asiáticos en temas políticos, económicos y culturales. Actualmente, está compuesta por 53 Estados y representantes de otras instituciones.

## Décimo aniversario de las cátedras universitarias del CSN

Más de 200 becarios de fin de carrera y máster y 50 becarios de doctorado se han beneficiado de las cátedras de seguridad nuclear y protección radiológica que el Consejo de Seguridad Nuclear mantiene con diferentes universidades. El pasado 10 de diciembre, fecha en que se cumplía el décimo aniversario de su puesta en marcha, se celebró un acto, en la sede del CSN, con la presencia del Ple-

no, encabezado por su presidente, Fernando Marti Scharfhausen, y los rectores de las universidades que albergan dichas cátedras, Carlos Conde por la Politécnica de Madrid (UPM), Enric Fossas por la Politécnica de Cataluña (UPC) y Francisco José Mora por la Politécnica de Valencia (UPV).

De la importancia de la labor desarrollada en esta década es muestra el que mu-

chos de los alumnos formados gracias a los cursos realizados por las cuatro cátedras trabajan actualmente en empresas del sector nuclear, como Tecnatom, ENUSA, Red Eléctrica, Iberdrola, etc., y en el propio organismo regulador español de la seguridad nuclear y la protección radiológica. El acto puso de manifiesto la relevancia de este instrumento estratégico en la preservación y mantenimiento de la alta cualificación técnica del personal del CSN, así como las expectati-

vas respecto a su rol futuro en el marco de las actividades del organismo.

El acto consistió en cuatro sesiones dedicadas a cada una de las cuatro cátedras: Argos, en la UPC; Juan Manuel Kindelán, en la ETSI de Minas y Energía de la UPM; Federico Goded en la ETSI Industriales de la UPM y Vicente Serradell en la UPV. En cada sesión intervinieron los directores de las cátedras, los consejeros del CSN responsables de cada una de ellas y otros expertos.

## XX aniversario de Women in Nuclear España

La vicepresidenta del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), Rosario Velasco, clausuró el 26 de noviembre el acto de celebración del XX aniversario de Women in Nuclear (WiN) España, celebrado en la Escuela Técnica



Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid, dedicando unas palabras al papel de la mujer en este ámbito, tanto a nivel institucional como en el de las empresas, públicas o privadas.

En su charla subrayó que se ha producido un aumento de la presencia de mujeres en las centrales nucleares y que en el CSN “existe un razonable equilibrio (tanto en el ámbito técnico como en el de las diferentes áreas de apoyo) entre hombres y mujeres”. Velasco, que estuvo acompañada en la clausura por la secretaria general del CSN, María Luisa Rodríguez, terminó su intervención animando a las profesionales del sector a continuar en esta dirección.

Women in Nuclear (WiN) España es una asociación de mujeres involucradas profesionalmente en el mundo de las radiaciones ionizantes y en sus aplicaciones de producción de energía, médicas, industriales y de comunicación. Se fundó en 1995 con el fin de lograr una mayor divulgación en aspectos técnicos y científicos de la energía nuclear y las radiaciones ionizantes, y forma parte de WiN Global, asociación internacional que engloba a las mujeres profesionales del sector y que cuenta con más de 25.000 miembros en más de 100 países. ▸



## El director general del OIEA, Yukiya Amano, visita el CSN

El 27 de octubre pasado visitó la sede del Consejo de Seguridad Nuclear el director general del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), Yukiya Amano, acompañado de una delegación del organismo de la que formó parte el director general adjunto Juan Carlos Lentijo. Junto a ellos se encontraba el embajador representante permanente de España en Viena ante los organismos internacionales, Gonzalo de Salazar. Por parte del CSN participaron en el encuentro institucional el presidente del CSN, Fernando Marti Scharfhausen, junto con los demás miembros del Pleno del organismo, la vicepresidenta Rosario Velasco y los consejeros Fernando Castelló, Cristina Narbona y Javier Dies, la secretaria general M<sup>a</sup> Luisa Rodríguez y la directora técnica de Protección Radiológica, M<sup>a</sup> Fernanda Sánchez.

Durante la reunión se abordaron los grandes retos a los que se enfrentan ambos organismos, su organización y sus principales funciones, incluidas cuestiones como la transparencia, la participación pública y la cooperación internacional. Marti Scharfhausen, subrayó la importancia de estos encuentros, que sirven para seguir estrechando vínculos entre ambas organizaciones. Por su parte, Yukiya Amano destacó la solidez de dichas relaciones. El encuentro se completó con un recorrido por la Sala de Emergencias (Salem) y por el Centro de Información, recientemente remodelado. ▸

## Jornada Técnica en la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid

El pasado 24 de noviembre tuvo lugar en la ETSI de Caminos de Madrid una reunión de seguimiento de un proyecto de I+D auspiciado por Enusa, Enresa y el CSN, dirigido por el profesor Jesús Díaz y cuyo objetivo es el estudio del comportamiento mecánico de las vainas

de combustible nuclear que sufren durante su operación un proceso de hidruración y posterior exfoliación. Este proyecto se realiza con varillas sin irradiar, que son sometidas a un proceso pionero de alteración que trata de reproducir el estado que podrían alcanzar tras su funcionamiento en un reactor. En paralelo, las tres entidades citadas llevan a cabo, en el laboratorio de Studsvik (Sue-

cia), otro estudio semejante, pero usando varillas de combustible irradiadas.

A la reunión, de carácter técnico, asistieron la vicepresidenta del CSN, Rosario Velasco, el presidente de Enusa, José Luis González, y el director de la Escuela, Francisco Javier Martín. Durante el encuentro, los investigadores presentaron los logros alcanzados y las expectativas hasta el final del proyecto en 2017. ▸



## Argentina acoge la reunión de seguimiento de la Declaración de Viena

La vicepresidenta del Consejo de Seguridad Nuclear, Rosario Velasco, y el consejero Fernando Castelló participaron en Buenos Aires (Argentina), los días 16 y 17 de noviembre, en la reunión informal de reguladores nucleares para dar seguimiento a la Declaración de Viena sobre Seguridad Nuclear, de febrero de 2015, organizado por la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN) de Argentina. Asistieron representantes de 27 países miembros y del OIEA, Euratom y NEA.

Durante la reunión se debatió sobre criterios técnicos e iniciativas nacionales para implementar la Declaración, los informes nacionales para la Convención sobre Seguridad Nuclear e ideas para promover una mayor participación de las partes contratantes en el proceso de revisión de su cumplimiento. También se aprobaron unas recomendaciones para la redacción del séptimo informe nacional. La delegación del CSN mantuvo encuentros con representantes de la ARN y de otros organismos.

## Segunda reunión anual de la Comisión de Normativa de Seguridad del OIEA

Javier Dies, consejero del CSN, participó en la segunda reunión anual de la Comisión de Normativa de Seguridad de la Organización Internacional de la Energía Atómica (OIEA), celebrada entre los días 11 y 13 de noviembre en Viena. Durante el encuentro se abordaron diversos puntos de la agenda, y se aprobaron diversas guías de seguridad de especial relevancia, como la relativa a la seguridad para instalaciones del ciclo de investigación y desarrollo. También se trató la revisión de los documentos de Estrategias y Procesos para el Establecimiento de los Es-



tándares de Seguridad del OIEA y el informe sobre los cuatro años del actual mandato de la Comisión, que incluye las propuestas para el nuevo mandato, que iniciará su andadura el próximo 2016.

La Comisión de Normativa se creó en 1996, junto con cuatro Comités especializados en las diversas ramas de seguridad nuclear, radiológica, transporte y residuos, a los que se añadió posteriormente el de preparación en emergencias.

## Curso sobre materiales metálicos en la industria

La consejera del CSN Cristina Narbona inauguró el 16 de noviembre en la Universidad Politécnica de Madrid el curso “Materiales metálicos en la industria nuclear”, organizado por la Cátedra Juan Manuel Kindelán del CSN y la ETSI de Minas y Energía de dicha universidad, que congregó a numerosos profesionales del sector nuclear y alumnos de doctorado del área de Ingeniería Nuclear.

En su intervención, Narbona destacó la importante labor del organismo regulador en materia de gestión del conocimiento y de Investigación y Desarrollo e Innovación a través de las cátedras en las que participa y destacó la im-



portancia que el Consejo otorga a la investigación, precisando que a lo largo de 2014 el CSN gestionó 54 proyectos de I+D, con un presupuesto de más de 3

millones de euros, lo que significa más del 5% del presupuesto anual del CSN. También explicó que el curso es “un punto importante en el mantenimiento de las capacidades necesarias en todos los grupos humanos involucrados en la seguridad de las plantas”.

# Principales acuerdos del Pleno

## **Propuesta de expediente sancionador a la central nuclear de Almaraz**

En su reunión del 28 de octubre, el Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear aprobó por unanimidad la apertura de un expediente sancionador por una infracción grave y dos infracciones leves a la central nuclear de Almaraz, por incumplimiento de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento (ETF) y de la Instrucción del Consejo IS 10. Rev. 1, de 30 de julio de 2014, por la que se establecen los criterios de notificación de sucesos al Consejo por parte de las centrales nucleares. De acuerdo con el expediente, se produjo una alteración reiterada de las hojas de control de las vigilancias horarias de protección contra Incendios (PCI) desde el segundo semestre de 2013, conocidas el 18 de febrero de 2015 por la inspección residente del CSN. Dicha alteración podría constituir una infracción de carácter grave, según el art. 86.b) 3 de la Ley 25/1964, sobre energía nuclear y otra leve según el artículo 86.a) 3 de dicha Ley. Además, se incumplió el plazo de notificación de sucesos al CSN puesto que desde la comunicación por la Inspección Residente al jefe de turno de operación de los hechos encontrados hasta la emisión del informe de suceso notificable (ISN) al CSN transcurrieron 24 horas, cuando se debía haber comunicado en una hora, que supone una infracción de la IS-10 y el artículo 86.c) 1 de dicha Ley.

## **Revisión de las ETFM, sobre curvas límite de presión-temperatura de Santa María de Garoña**

El Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear, en su reunión del 4 de noviembre,

aprobó por mayoría informar favorablemente la solicitud de revisión de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento Mejoradas (ETFM) de la central nuclear Santa María de Garoña, en lo relativo a la actualización de las curvas límite de presión-temperatura de la vasija del reactor. Dicha solicitud cumple los requisitos de la Instrucción Técnica Complementaria CSN/ITC/SG/SMG/14/01 sobre documentación y requisitos adicionales en relación con la solicitud de renovación de la autorización de explotación. La actualización de dichas curvas considera la disponibilidad de nuevos cálculos de fluencia neutrónica, realizados de acuerdo con la metodología *Radiation Analysis Modeling Application*. Esta revisión de las ETFM sería aplicable sólo en el caso en el que el titular obtuviese la renovación de la autorización de explotación. Votó en contra la consejera Narbona, cuyo voto particular se unió al acta de la reunión, al igual que los textos de explicación de su voto favorable del presidente del CSN y del consejero Castelló.

## **Instalación de recombinaidores pasivos autocatalíticos de hidrógeno en la central nuclear de Ascó**

En su reunión del 2 de diciembre, el Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear aprobó por unanimidad las solicitudes de modificación de diseño SA A1/15 02, rev.0 y SA A2/15 02, rev.0, para la instalación de recombinaidores pasivos autocatalíticos (PAR) de hidrógeno en la contención de los reactores I y II, respectivamente, de la central nuclear de Ascó, durante las paradas para recarga. La solicitud responde a la Instrucción Técnica Complemen-

taria de referencia CSN/C/SG/AS0/12/01, de marzo de 2012, en relación con los resultados de las pruebas de resistencia realizadas por las centrales nucleares españolas, que requirió la implantación de un sistema de control de hidrógeno en contención mediante dichos PAR en ambos reactores.

## **Aplazamiento de la puesta en servicio de los centros alternativos de gestión de emergencias**

El Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear, en su reunión del 9 de diciembre aprobó por unanimidad las solicitudes de aplazamiento de la puesta en servicio de los centros alternativos de gestión de emergencias (CAGE) realizadas por los titulares de las centrales nucleares de Trillo, Ascó, Cofrentes, Vandellós II y Almaraz, por diversas razones. Las Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC) post Fukushima, en concreto la ITC 3 e ITC adaptada, requerían que el CAGE estuviera operativo en el emplazamiento antes de fin de 2015, incluyendo sus procedimientos operativos y su incorporación al Plan de Emergencia Interior (PEI). Con la aprobación de esta solicitud, las centrales de Trillo, Cofrentes y Almaraz deberán hacerlo ahora antes del 30 de junio de 2016, y las centrales de Ascó y Vandellós II antes del 30 de noviembre de 2016. Todas las centrales solicitantes tienen implantadas las medidas compensatorias requeridas en el punto 4.1.3 de la ITC 3, consistentes en el establecimiento de centros de gestión de emergencias alternativos a los anteriormente existentes, que seguirán vigentes hasta la puesta en servicio de los CAGE de cada una de ellas. ©

# www.csn.es



## La actualidad del CSN, día a día

De media, el Consejo de Seguridad Nuclear emite una docena larga de notas de prensa mensuales, a través de las cuales puede seguirse con detalle la actividad que realiza cotidianamente y también los eventos puntuales que jalonan su trayectoria. Aunque su principal finalidad es canalizar la actualidad del organismo hacia los medios de comunicación, pueden ser consultadas por cualquier interesado en:

<https://www.csn.es/noticias-csn>



## Los residuos radiactivos

Dentro de las obligaciones que asume el Consejo de Seguridad Nuclear se encuentra la tarea de facilitar a la sociedad la comprensión de las tareas del organismo, algunas de ellas de gran complejidad. Como parte de esa labor divulgativa, la web del organismo contiene un apartado de monografías dedicadas a explicar algunos conceptos clave de su gestión. Por ejemplo, para conocer con detalle qué son los residuos radiactivos, cómo se clasifican, cómo se generan y cómo se gestionan se puede consultar la correspondiente monografía en:

<https://www.csn.es/residuos-radiactivos>



## SISC

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



## Actas del Pleno del CSN

Para consultar las actas del Pleno del CSN, visite: <http://www.csn.es/csn/actas-del-pleno>

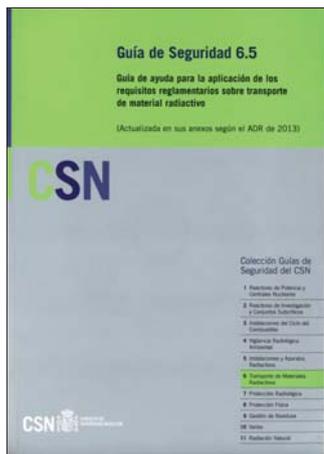


## Alfa

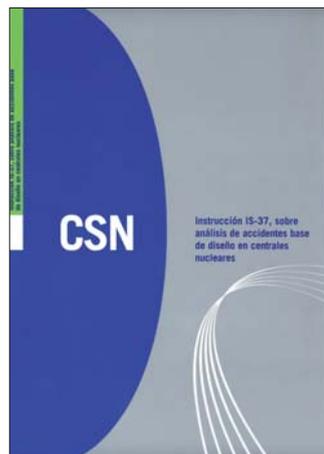
Puede acceder a los anteriores números de *Alfa, revista de seguridad nuclear y protección radiológica* en: [http://www.csn.es/centro-de-documentacion?\\_20\\_folderId=13557&\\_20\\_viewEntries=1&\\_20\\_viewFolders=1&\\_20\\_struts\\_action=%2Fdocument\\_library%2Fview&\\_20\\_action=browseFolder&p\\_p\\_id=20&p\\_p\\_lifecycle=0&\\_20\\_entryStart=0&\\_20\\_entryEnd=50&\\_20\\_folderStart=0&\\_20\\_folderEnd=100](http://www.csn.es/centro-de-documentacion?_20_folderId=13557&_20_viewEntries=1&_20_viewFolders=1&_20_struts_action=%2Fdocument_library%2Fview&_20_action=browseFolder&p_p_id=20&p_p_lifecycle=0&_20_entryStart=0&_20_entryEnd=50&_20_folderStart=0&_20_folderEnd=100)



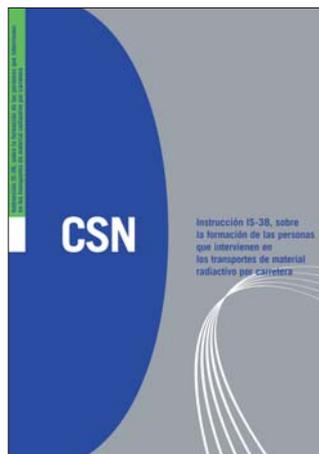
# Publicaciones



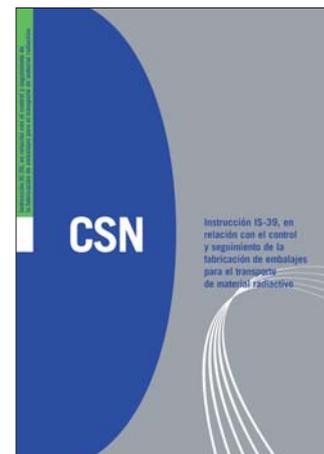
**Guía de Seguridad 6.5**  
Guía de ayuda para la aplicación de los requisitos reglamentarios sobre transporte de material radiactivo



**Instrucción IS-37, sobre análisis de accidentes base de diseño en centrales nucleares**



**Instrucción IS-38, sobre la formación de las personas que intervienen en los transportes de material radiactivo por carretera**



**Instrucción IS-39, en relación con el control y seguimiento de la fabricación de embalajes para el transporte de material radiactivo**



**Jornada 10º aniversario de las cátedras del CSN**  
Principales actividades realizadas en el periodo 2005-2014



**Jornada 10º aniversario de las cátedras del CSN**  
Anexo: Actividades realizadas en el año 2015

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

**Boletín de suscripción**

Institución/Empresa

Nombre

Dirección

CP

Localidad

Provincia

Tel.

Fax

Correo electrónico

Fecha

Firma

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

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

# Abstracts

## REPORTS

### 4 **Gamma rays light up the universe**

Cherenkov radiation may be used to study the universe in the highest energy region of the electromagnetic spectrum, the one that contains gamma rays. Gamma astronomy allows the most extreme phenomena in the universe to be studied, and one of the two observatories that are being built for this purpose within the framework of the international CTA project will be located in the Canary Islands.

### 18 **The transport of radioactive materials and waste in Spain**

Both the radioactive materials used at nuclear power plants, in industry and at research centres, hospitals and medical facilities and the wastes that the use of these materials generates must be transported in accordance with strict regulations in order to guarantee safety in their management, these covering the characteristics of the packaging used, labelling, routes and vehicles.

### 23 **The Earth's sentinels**

Hundreds of terrestrial observation satellites maintain a continuous watch over all types of environmental variables, from the temperature of the oceans to the Antarctic ice mass and from the depletion of tropical forests to the consumption of water for irrigation in agricultural operations. These were the first devices to provide evidence of the Fukushima accident.

### 45 **In search of the perfect decision**

Very often the authorities are required to take urgent decisions when there is an unexpected emergency. With a view to managing the unforeseen more successfully, mathematicians are developing aid mechanisms as part of a new discipline known as management science or operational research, which came about in the wake of the 9-11 attacks, this also having applications in other fields.

### 50 **Emergency preparedness**

The economic impact of the natural and technology-related catastrophes that occur annually in Spain amounts to 400 million euros, a minor sum according to the experts, thanks to the National Civil Defence System, which is based on a law passed in 1985. Despite the latter serving as a model for other countries, a new standard will come into force in 2016 with the aim of improving and modernising this system.

## INSIDE THE CSN

### 56 **Sub-directorate of Information Technologies, a continuous process of innovation**

Nowadays, information and communication technologies are fundamental for any company or institution. At the Nuclear Safety Council the Sub-directorate of Information Technologies is in charge of this area, providing the set of technological resources necessary for the communication, processing, storage, transmission and security of information in the myriad activities that the organisation carries out.

### 30 **RADIOGRAPHY**

Electrical switchyards at nuclear power plants.

## INTERVIEW

### 32 **Juan Carlos Lentijo, deputy director general of the IAEA**

"We need to progress with a sustainable nuclear safety model that does not require another accident to continue to improve".

## TECHNICAL ARTICLES

### 10 **New Network of Automatic Stations integrated in the CSN's Environmental Radiological Surveillance Network**

In 1992, the Council put into operation a network comprising 25 automatic stations for continuous monitoring of the radiological quality of the air and the detection of anomalous situations. It has now decided to undertake the renewal and modernisation of these installations, incorporating sensors and automatic connection and communication systems based on the best technology currently available.

### 38 **Consolidation of use of the CSN-Ciemat radiological protection educational portal**

The workers of nuclear and radioactive facilities are required to undertake training programmes on radiological protection in order to achieve the accreditations and licences granted by the CSN. Since 2003, the Council has been collaborating with Ciemat in the development, maintenance and updating of the teaching material for these courses. More than a thousand such courses have been delivered to date and their contents are accessible via Internet.



# Súmate a los 110.000

Desde su inauguración en 1998, los 110.000 visitantes del Centro de Información del Consejo de Seguridad Nuclear han tenido ocasión de aproximarse al conocimiento sobre las radiaciones ionizantes, sus usos, sus riesgos y los controles y la protección que son necesarios para garantizar su utilización fiable, en la cual el CSN –como organismo encargado de la seguridad nuclear y la protección radiológica– juega un papel muy importante.

En la vida diaria utilizamos las radiaciones con una enorme frecuencia, tanto en relación con la salud y la medicina –en diagnóstico y en terapia– como también en la industria y en la investigación. A través de un recorrido guiado por los 29 módulos, se pueden conocer con detalle estos aspectos relacionados con las radiaciones. Consigue más información en [www.csn.es/index.php/es/centro-informacion](http://www.csn.es/index.php/es/centro-informacion) o pide cita en [centroinformacion@csn.es](mailto:centroinformacion@csn.es) Súmate a los 110.000.