



Los nuevos retos de la comunicación de crisis

El CERN acorrala al bosón de Higgs para saber de qué está hecha la materia

El conocimiento y el control del radón en las cuevas

Aplicación de la escala INES en instalaciones radiactivas y transporte

Entrevista con André-Claude Lacoste, presidente de la ASN, el organismo regulador francés

Las nuevas tecnologías revolucionan el campo de la restauración y la conservación de las obras de arte



“El encuentro sirvió para compartir experiencias con el objetivo de mejorar la comunicación de los organismos reguladores”



En 2008, el Consejo de Seguridad Nuclear decidió reforzar la misión que la ley le encomienda de información a la sociedad mediante la edición de una revista, esta que está en sus manos, donde tuvieran cabida tanto textos de carácter técnico, que difundieran con detalle la actividad del CSN, como reportajes periodísticos sobre un entorno más amplio, accesibles a un público no especializado. Creemos haber cumplido aquel objetivo, como demuestra el creciente número de suscriptores que se interesan por *Alfa*, y ahora pretendemos reforzar aún más este aspecto divulgativo de la revista incorporando más reportajes, ampliando el ámbito de sus contenidos, reforzando los aspectos gráficos y realizando ligeros retoques en su diseño para hacerla más atractiva.

Pretendemos recoger la actualidad de la ciencia, la tecnología, el medio ambiente, la cultura, la economía y otros campos de actividad, y ofrecérsela a los lectores a través del buen hacer de un amplio número de periodistas especializados; y todo ello sin perder nunca de vista el ámbito en el que se desarrolla la labor del CSN, la seguridad en el uso de la energía nuclear y la protección de las personas y el medio ambiente ante las radiaciones ionizantes. Lo cierto es que estos campos son mucho más amplios de lo que pudiera parecer a simple vista, porque el uso de las radiaciones o los efectos de la radiación natural están presentes en numerosos aspectos de nuestra vida cotidiana. Este enfoque nos permitirá abordar temas aparentemente tan lejanos como la física de partículas, la espeleología, el estudio del cerebro, la seguridad informática y la restauración

de obras de arte; cinco ejemplos que se corresponden, precisamente, con algunos de los contenidos que incluimos en este número de la revista.

Recogemos también una amplia crónica de un evento organizado conjuntamente por la Agencia de Energía Nuclear (NEA/OCDE) y el Consejo de Seguridad Nuclear, el encuentro internacional celebrado en Madrid los días 9 y 10 de mayo bajo el lema *Crisis Communication: Facing the Challenges*, que sirvió para compartir experiencias con el objetivo de mejorar la comunicación de los organismos reguladores del sector. Como ha ocurrido en otros ámbitos más técnicos, también en el de la información se han podido extraer lecciones del accidente de la central nuclear de Fukushima, mediante el análisis de la gestión de la misma realizada por las autoridades correspondientes durante los momentos álgidos de esta crisis que tanta relevancia mediática tuvo en todo el mundo.

Uno de los asistentes a este encuentro fue André-Claude Lacoste, presidente del regulador francés, la Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN), quien dejará próximamente el cargo tras dos décadas de ejercicio de esta responsabilidad. Lacoste protagoniza la entrevista de este número para ofrecernos un panorama de la evolución de la seguridad nuclear en el mundo en este periodo y darnos su visión de los retos actuales y futuros.

Completan esta edición dos artículos técnicos dedicados a la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo Radiológico y a la aplicación de la Escala Internacional de Sucesos Nucleares y Radiológicos en instalaciones radiactivas y transporte. ©

REPORTAJES

- 4 **Los nuevos retos de la comunicación de crisis**
Organizado por la Agencia de Energía Atómica (NEA/OCDE) y el Consejo de Seguridad Nuclear, se celebró el pasado mes de mayo un encuentro internacional de organismos reguladores para debatir e intercambiar experiencias sobre la gestión de la comunicación.

New challenges in crisis communication. During the month of May an international meeting of regulatory authorities was held, organised by the Nuclear Energy Agency (NEA/OECD) and the Nuclear Safety Council, to debate and exchange experiences in communications management.
- 11 **Oculto bajo la tierra**
El conocimiento y el control del radón en el subsuelo sigue siendo una asignatura pendiente. Aún se desconocen los niveles de este gas radiactivo en muchas cuevas y minas visitables o en explotación, en las que desarrollan su labor muchos trabajadores.

Hidden under ground. The knowledge and control of radon in the subsoil continues to be a target yet to be reached. The levels of this radioactive gas in many caves and accessible or operational mines in which a large number of workers carry out their tasks are still unknown.
- 16 **Conectoma Humano, el gran proyecto de la neurociencia**
Entender el cerebro sigue siendo el mayor reto científico sin resolver. Ahora, numerosos grupos de investigación de todo el mundo pretenden hacer un mapa detallado de las conexiones cerebrales para desvelar las claves de su funcionamiento.

The Human Connectome, neuroscience's major project. Understanding the brain continues to be the most important scientific challenge still to be unravelled. Now, numerous research groups across the world aim to plot a detailed map of the cerebral connections in order to reveal the secrets of its functioning.
- 20 **Cirujanos del arte**
La reciente restauración de la Gioconda de El Prado, atribuida ahora al taller de Leonardo da Vinci, ha deparado algunas sorpresas y puesto de manifiesto el papel que las nuevas tecnologías juegan en la conservación y reparación de las grandes obras artísticas.

Art's surgeons. The recent restoration of the El Prado copy of the Mona Lisa, now attributed to the workshop of Leonardo da Vinci, has yielded a few surprises and underlined the role played by the latest technologies in the conservation and repair of major works of art.
- 28 **Navegando con red**
La seguridad informática sufre amenazas cada vez más sofisticadas que exigen soluciones no menos ingeniosas. En el año 2011 se detectaron 26 millones de virus, gusanos, troyanos y otras formas de ataque a los ordenadores.

Browsing with a safety net. The security of computer systems is open to increasingly sophisticated threats requiring equally clever solutions. In 2011, 26 million viruses, worms, Trojan horses and other types of attacks were detected.

- 33 **Bosón de Higgs: por fin sabremos qué es la materia**
El LHC, el mayor acelerador de partículas del mundo, ha puesto cerco a la partícula más buscada de la historia, con la que se completará el modelo estándar de la física. Los científicos confían en celebrar el hallazgo este mismo año.

The Higgs Boson: we shall at last know what matter is. The LHC, the world's largest particle accelerator, has laid siege to the most sought after particle ever, which will allow the Standard Model of physics to be completed. Scientists hope to celebrate the discovery later this year.

RADIOGRAFÍA

- 40 **Torres de refrigeración**

Cooling towers.

ENTREVISTA

- 42 **André-Claude Lacoste, presidente de la ASN, el organismo regulador francés: "El análisis completo de las enseñanzas de Fukushima nos llevará casi 10 años".**

André-Claude Lacoste, president of the ASN, the French regulatory authority: "A complete analysis of the lessons of Fukushima will take us almost 10 years".

ARTÍCULOS TÉCNICOS

- 46 **Aplicación de la Escala INES en instalaciones radiactivas y transporte**

El CSN aprobó en 2009 los cambios introducidos por el Manual 2008 de la Escala Internacional de Sucesos Nucleares y Radiológicos. Se trata de una herramienta que facilita la comunicación entre la comunidad técnica, los medios y el público.

Application of the INES Scale at radioactive facilities and in transport. In 2009 the CSN approved the changes introduced by the 2008 edition of the Manual of the International Nuclear and Radiological Events Scale. This is a tool that facilitates communications between the technical community, the media and the public.

- 54 **La Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo Radiológico**

Con la aprobación de esta directriz se completa el esquema normativo básico en materia de emergencias nucleares y radiológicas aplicable a nuestro país, en las que el Consejo de Seguridad Nuclear juega un papel definido en el Plan de Acción para su implantación.

Basic Directive on the Planning of Civil Defence in response to Radiological Risk. The approval of this directive completes the basic set of standards governing nuclear and radiological emergencies applicable in Spain, in the implementation of which the Nuclear Safety Council plays a role defined in the Action Plan.

- 60 **PANORAMA**

- 68 **EL CSN INFORMA**

- 71 **WWW.CSN.ES**

- 72 **PUBLICACIONES**

alFa

Revista de seguridad nuclear
y protección radiológica

Editada por el CSN

Número 17 / I y II trimestre 2012

Comité Editorial

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

Comité de Redacción

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

Edición y distribución

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

Coordinación editorial

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

Fotografías

CSN, Divulga y Javier Fernández

Impresión

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

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

© Consejo de Seguridad Nuclear

Fotografía de portada

iStockphoto

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

Madrid acoge un encuentro internacional de reguladores organizado por la NEA y el CSN



Los nuevos retos de la comunicación de crisis

El accidente nuclear de Fukushima supuso un desafío para los organismos reguladores no solo a nivel técnico, también en la gestión de la comunicación. Sin importar la distancia que nos separa de Japón, el accidente fue asumido de inmediato por la opinión pública como un desastre natural con graves consecuencias para la más alta tecnología nuclear. Ante la incertidumbre de los primeros momentos, la ausencia de una comunicación eficaz por parte de las autoridades japonesas trajo consigo la pérdida de confianza en el sector. Un año después, la Agencia de Energía Nuclear de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (NEA/OCDE), en colaboración con el Consejo de Seguridad Nuclear, reunió en Madrid a los máximos responsables en la materia para reflexionar acerca de las lecciones aprendidas en esta crisis en el campo de las comunicaciones.

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

Un terremoto de magnitud 9,0 en la escala Richter sacudió el noreste de Japón el 11 de marzo de 2011, provocando un *tsunami* que golpeó la costa del país con olas de hasta casi 40 metros, en menos de media hora. El mundo entero se conmocionó viendo un desastre que se cobró cerca de 20.000 vidas y dejó una región totalmente desolada. Desgraciadamente, el relato que mantu-

vo al mundo en vilo durante más de un mes, y que será recordado en los anales de la historia, no había hecho nada más que empezar. Los más de 100.000 edificios destruidos pasaron a un segundo plano y el foco de atención se centró en la imagen de una maraña de hierros fundidos que sembraron el pánico en todo el planeta: eran las infraestructuras dañadas de la central nuclear de Fukushima Daiichi.



Vista general del salón de la Casa de América donde se celebró el taller.



Carmen Martínez Ten, presidenta del CSN, y Luis Echávarri, director general de la NEA/OCDE. A la derecha, recogida de acreditaciones.

Los canales de noticias de todo el mundo recogieron la que es ya una de las mayores crisis nucleares de la historia. Ante el desconcierto y el nerviosismo por la escasez de información de las primeras horas, entre las imágenes aéreas de los reactores de Fukushima, inevitablemente en la mente de todos saltaban los flashes del accidente de Chernobyl.

Dejando al margen las diferencias técnicas que ocasionaron los desastres, hay otro aspecto que hizo que ambas crisis se desarrollaran de manera muy diferente. El accidente ucraniano ocurrió en 1986 mientras que el japonés aconteció en plena era de las comunicaciones. Hoy todos estamos conectados a través de nuestros teléfonos móviles, ordenadores portátiles, redes sociales, etc. Las nuevas tecnologías han derribado fronteras y han conseguido que el mundo entero sea capaz de saber lo que está ocurriendo en el punto más recóndito del planeta con solo un clic.

Con este escenario, y ante la ausencia de una información oficial rápida y fluida por parte de las autoridades japonesas, los ciudadanos se convirtieron en reporteros que, con los datos recabados a través de me-

dios de comunicación y redes sociales, retransmitieron segundo a segundo los acontecimientos a través de sus pantallas electrónicas, invadiendo las redes, en muchas ocasiones, con puros rumores.

24 horas después del accidente se habían abierto 572.000 cuentas nuevas en Twitter y en el mes siguiente 500 millones de Tuits habían dado la vuelta al mundo hablando sobre la radiactividad de Fukushima.

Ávida de información, la sociedad necesitaba conocer la realidad que se estaba viviendo en Japón y cuáles eran los riesgos a los que se enfrentaba. Los organismos reguladores nucleares de todo el mundo vieron cómo se disparaban las demandas de información recibidas. Autoridades, empresas, periodistas y ciudadanos en general buscaban respuestas oficiales a las dudas sembradas durante los primeros días.

Una vez calmada la avalancha informativa, el Comité de Actividades de Reguladores Nucleares (CNRA) de la NEA decidió dedicar su cuarto *workshop* a la comunicación de crisis teniendo en cuenta las lecciones aprendidas a raíz del accidente de Fukushima.

La NEA había iniciado dos años antes, en su Grupo de Trabajo de Comunicación Pública (WGPC), una actividad específica sobre comunicación de crisis, liderada por la representante del CSN, Marina Calvo. El análisis, titulado *Road Map for Crisis Communication of Nuclear Regulatory Organisations*, culminó sin que hubiera ocurrido aún el accidente. Por ese motivo, se estimó necesario ampliarlo para recoger la dimensión internacional de una crisis semejante y dedicar el seminario internacional que el CNRA auspicia cada cuatro años a este tema de máxima relevancia a nivel global. Las conclusiones del seminario servirán a su vez para enriquecer las materias específicas sobre las que trabaja el grupo de comunicación pública en el ámbito de la NEA.

De este modo, en junio de 2011, tras el visto bueno del CSN a la solicitud enviada por el presidente del CNRA, Mike Weightman, para que España acogiera el evento en la primavera de 2012, quedó puesta la primera piedra del que sería el cuarto *workshop* del WGPC: "Comunicación de crisis: afrontando los desafíos".

Con el fin de optimizar la coordinación de las tareas encomendadas, el gru-

po creó un comité organizador compuesto por la secretaria del propio WGPC y siete expertos en comunicación de los organismos reguladores de Bélgica, Corea del Sur, Eslovaquia, España, Estados Unidos, Francia y Japón.

Tras varios meses de trabajo, el grupo consiguió citar en España a altos representantes de los reguladores nucleares y organizaciones internacionales, expertos en comunicación y miembros de los principales grupos de referencia (parlamentarios, autoridades gubernamentales y locales, representantes de la industria, de las ONG y medios de comunicación). Durante los días 9 y 10 de mayo, cerca de 200 profesionales se reunieron, en la Casa de América de Madrid, con el objetivo de intercambiar información en materia de gestión de la comunicación en crisis a nivel global, en base a la difícil experiencia de Fukushima Daiichi.

Desarrollo del seminario

Los dos días de trabajo se organizaron en torno a seis sesiones y dos mesas de debate. Cada sesión contó con la intervención de cinco expertos y un tiempo final de coloquio que permitió a los participantes contrastar opiniones y compartir experiencias sobre la materia.

La primera jornada, dedicada a las lecciones aprendidas en crisis anteriores, fue inaugurada por la presidenta del CSN, Carmen Martínez Ten; el presidente de la Comisión de Industria, Energía y Turismo del Congreso de los Diputados, Pablo Matos; el director general de la NEA, Luis Echávarri; y el presidente del organismo regulador británico y del CNRA, Mike Weightman.

Tras su saludo de bienvenida, la presidenta invitó a sus homólogos a reflexionar sobre la dimensión internacional de la comunicación en momentos de crisis: “La comunicación es uno de los desafíos más importantes a los que se enfrentan los organismos reguladores; todos so-

mos conscientes de que la demanda de información y de transparencia sobre las actividades nucleares crece día a día”.

Martínez Ten destacó también la importancia de trabajar desde la más intensa cooperación internacional y subrayó que los organismos reguladores deben ser capaces de entender y de responder a las dudas y preocupaciones sociales, hablando con claridad y proporcionando información abordable e inteligible para los profesionales del periodismo y para los ciudadanos.



Los directores de comunicación de los reguladores finlandés y belga.

A este respecto, el director de la NEA recordó el esfuerzo que desde hace años se hace dentro de la Agencia en esta materia y reiteró la necesidad de establecer unas guías de actuación previas a las crisis: “Fukushima ha puesto de manifiesto la necesidad de tener unos planes de comunicación claros, que garanticen una información independiente y objetiva. No se puede esperar a organizar la comunicación de crisis hasta que la crisis se produzca”. Como conclusión, apostilló que “el futuro de la energía nuclear depende de la percepción de la sociedad y de la seguridad que se transmita”.

Tras la apertura de la jornada, la primera sesión, moderada por el presidente del organismo regulador de Hungría (HAEA), Jozsef Rónaky, sirvió para poner sobre la mesa los elementos cla-

ve en la comunicación de crisis, haciéndose especial referencia al *Manual de Comunicación de Crisis para las Organizaciones Reguladoras Nucleares* elaborado por el WGPC y al uso de los medios sociales. La sesión contó también con la participación del presidente de Asesores de Comunicación Pública de España, Luis Arroyo, quien, a partir de los síndromes que se dan en la comunicación de una crisis, dibujó los principales escenarios a tener en cuenta ante una crisis nuclear.

Durante la segunda sesión, moderada por el entonces presidente del regulador estadounidense (NRC), Gregory Jaczko, expertos de Japón, India, España e Irlanda compartieron las lecciones aprendidas en crisis anteriores. Por parte de España, la asesora de comunicación del CSN, Marina Calvo, realizó una presentación sobre las acciones llevadas a cabo en el regulador nuclear español para establecer una estrategia de comunicación equilibrada y ajustada a las competencias del organismo, que abordara la situación con rigor y rapidez, dando respuesta a los requerimientos legales y a las expectativas de la ciudadanía. Especial interés suscitó también la ponencia del director de relaciones públicas del regulador japonés (NISA), Makoto Watanabe, quien puso de manifiesto la ya conocida compleja situa-



Mesa de ponentes de la primera sesión del workshop.



Participantes de la segunda sesión.

ción a la que se enfrentó el organismo, fundamentalmente a causa de la pérdida de las infraestructuras de comunicación.

Como cierre, los asistentes participaron en una mesa de debate, moderada por el presidente del regulador francés (ASN), André-Claude Lacoste, sobre las expectativas de la sociedad en relación con la comunicación de crisis.

Enfoque global y mejoras en la comunicación de crisis

El segundo día estuvo orientado a la mejora continua y al futuro de la comunicación de crisis. La mañana comenzó con un interesante panel de discusión sobre “Los respectivos roles de los medios de comunicación, organismos reguladores y la industria”. Altos responsables del sector y periodistas internacionales, expertos en la materia, compartieron los objetivos y dificultades a los que se enfrentan en el ejercicio de sus funciones. El debate, moderado por la directora del programa de TVE “Informe Semanal”, Alicia G. Montano, permitió contrastar experiencias y opiniones acerca del conflicto que, en muchas ocasiones, se produce entre estos sectores: puntualidad frente a fiabilidad de la información.

Tras un productivo debate, la segunda sesión del día se centró en la necesidad de una aproximación global entre organismos reguladores en materia de comunicación durante una crisis. Esta sesión, dirigida por Mike Weightman, presidente del organismo regulador británico, y del CNRA de la NEA, puso de manifiesto la necesidad de que, ante la dimensión internacional de todo accidente nuclear, los países compartan la información sobre las medidas llevadas a cabo y piensen en una comunicación a escala global. A este respecto, el subdirector de Seguridad Nuclear del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), Denis Flory, señaló: “Una única comunicación sólida común es mejor que diez comunicaciones sólidas a nivel nacional”.

De la edificación de la confianza a los nuevos retos de la comunicación en crisis

En los últimos doce años, el Comité de Actividades Reguladoras Nucleares (CNRA) ha auspiciado la organización de cuatro seminarios internacionales sobre la inversión en la confianza (Francia, 2000); la mejora de la confianza del público en el regulador (Canadá, 2004); la transparencia de las actividades reguladoras nucleares (Japón, 2007) y la comunicación en situaciones crisis (España, 2012).



París (Francia), diciembre de 2000: “Invertir en la confianza: los reguladores nucleares y el público”

Este taller brindó la oportunidad de intercambiar información y puntos de vista sobre cómo los organismos reguladores pueden mejorar su interacción con el público. Los diferentes países coincidieron en la importancia de la comunicación, siendo

ésta un elemento clave para crear confianza en los ciudadanos. Para ello coincidieron en la necesidad de establecer canales eficientes de comunicación, a través de los cuales asegurar una transferencia de información eficaz, tanto dentro como fuera de los Estados miembros.



Ottawa (Canadá), mayo de 2004: “Construcción, medición y mejora de la confianza del público en el regulador”

Plenamente conscientes de la existencia de grandes diferencias culturales entre los países miembros, los reguladores abordaron las principales vías para construir, medir y mejorar la confianza del público en general. Durante este taller se identificaron una serie de principios comunes, recomendables en la comunicación de los reguladores: priorizar la confianza del público, utilizar los canales adecuados y disponibles para dar a conocer el papel de los organismos reguladores, ser accesibles para el público en caso de demanda de información, comunicar de una manera comprensible para el público objetivo y, ante todo, ser honestos y transparentes.



Tokio y Tokai-Mura (Japón), mayo de 2007: “La transparencia de las actividades reguladoras nucleares”

Los Estados miembros coincidieron en la importancia de contar con la confianza de la sociedad para alcanzar uno de sus principales objetivos: la protección del público. Cuanto más transparentes sean los reguladores, mayor será el grado de

confianza. A pesar de la existencia de sus diferencias culturales, identificaron una serie de rasgos comunes que caracterizan a los medios de comunicación y las expectativas públicas respecto de cualquier actividad que conlleve un riesgo asociado. Aunque pueden diferir de un país a otro, se consensuaron una serie de prácticas destinadas a mejorar la transparencia de las actividades nucleares reguladoras.



Representantes del OIEA.

La sesión contó también con la experiencia de Reino Unido, Rusia y Francia así como con la participación del vicepresidente del Grupo Europeo de Reguladores de Seguridad Nuclear (ENSREG), Andreas Molin, quien presentó una ponencia sobre el enfoque global de la comunicación de crisis, haciendo una especial reflexión sobre el escenario europeo.

El presidente del regulador coreano (KINS), Youn-Won Park, dirigió una sesión en la que los asistentes pudieron conocer con más detalle las mejoras implantadas por los reguladores en el ámbito de comunicación de crisis tras las lecciones aprendidas. En concreto, se expusieron las prácticas implantadas en Canadá, Bélgica, Japón y Corea.

Esta última sesión dio paso al acto de clausura de este encuentro internacional, en el que tomaron la palabra el consejero del CSN Antonio Colino, el secretario de Estado de Energía, Fernando Martí, el director general de la ASN francesa, Jean-Christophe Niel, la directora de Cooperación Internacional del regulador coreano (KINS), Yeonhee Hah, y el jefe de la División de Seguridad Nuclear de la NEA/OCDE, Javier Reig.

Tras dar las gracias a los participantes, el consejero Colino se refirió en su intervención a la importancia de la credi-



Miembros del CSN que formaban parte de la delegación española.

bilidad durante las situaciones de crisis a las que se puede enfrentar un organismo regulador. “Una buena comunicación implica mayor credibilidad, y cuanto más creíble seas mayor fiabilidad y confianza obtendrás”, dijo el consejero. “Es difícil mantener la calma y tomar las acciones apropiadas, pero sabemos cómo hacerlo y cómo afrontar el reto”, señaló.

Por su parte, Javier Reig, en el repaso de las conclusiones principales, indicó la importancia de que todos los grupos de influencia involucrados en una crisis internacional incrementen su interacción y trabajen de manera coordinada para dar una respuesta a una sociedad globalizada: “Tiempo atrás, la comunicación era considerada una cuestión nacional. Hoy, tras Fukushima, todos sabemos que la seguridad es una cuestión global”.

Principales conclusiones

A lo largo de dos días de intenso debate, los representantes pudieron compartir con sus homólogos tanto las acciones llevadas a cabo como las lecciones aprendidas tras el accidente en cada uno de sus países.

Los organismos reguladores confirmaron que, en general y salvando las diferencias sociales y culturales de cada

país, todos se habían enfrentado al mismo escenario, utilizando las herramientas de seguimiento de crisis a su alcance (salas de emergencias y páginas web) e incrementando los esfuerzos desde sus respectivos departamentos de comunicación para proporcionar tanta información como fuera posible a los gobiernos, al público y a los medios de comunicación, organizando varias sesiones de información, intensificando la presencia en redes sociales y distribuyendo un elevado número de notas de prensa.

De manera unívoca, los expertos coincidieron también en las dificultades a las que se enfrentaron al no poder satisfacer las demandas de información con datos contrastados, dado que durante la crisis la información oficial no siempre estaba disponible.

El taller puso sobre la mesa varios aspectos clave sobre los que los Estados miembros de la OCDE deberán seguir trabajando: la transparencia como fuente de credibilidad, la coordinación de unos planes de comunicación efectivos,



Los jardines de la Casa de América, donde se sirvió el desayuno de media mañana.



JAVIER FERNÁNDEZ / CSN

Sesión de clausura.



JAVIER FERNÁNDEZ / CSN

La delegación japonesa tuvo una participación muy activa en el taller.

que tengan en cuenta la globalización de las crisis nucleares y el refuerzo del uso de las redes sociales como nueva herramienta de comunicación.

La construcción de la credibilidad es un factor esencial, y para conseguirla el regulador debe contar con la confianza de los ciudadanos, lo que no es una tarea fácil. Conseguir este objetivo implica esfuerzos a largo plazo que suponen realizar un ejercicio de apertura y empatía.

En un sector envuelto en un halo de desconfianza, sería muy conveniente hacer un esfuerzo para involucrar a los diferentes actores en el día a día, de manera que se sientan informados. Este acercamiento requiere tener en cuenta el marco emocional y hacerse eco de los intereses y preocupaciones de los ciuda-

danos, de manera que se puedan atender sus expectativas, ya que solo así se logrará incrementar la confianza del público.

Los reguladores coincidieron en destacar la importancia de ser una fuente fiable de información para sus ciudadanos, mostrarse accesibles a los mismos y comunicar de manera regular, con un lenguaje claro y objetivo, entendible para un público ajeno a la materia. Las organizaciones deberán apostar por una comunicación emitida en todas direcciones, para reforzar la coherencia tanto a nivel interno como externo, y preparar planes de comunicación que tengan en cuenta los escenarios de crisis.

Otro aspecto acordado durante el taller fue la necesidad de establecer una

coherencia entre los países implicados, de modo que haya una preparación conjunta ante las emergencias, se armonicen las medidas de protección y se establezcan los canales necesarios que aseguren un intercambio de información efectivo.

Sin duda una de las frases más escuchadas durante estos dos días fue: “Vivimos en una sociedad globalizada”. Este hecho debe ser tenido en cuenta por los organismos, dado que hoy en día la comunicación se ha convertido en algo internacional; cualquier ciudadano del mundo tiene acceso a la información con un simple clic. En plena era de las comunicaciones, las nuevas tecnologías y, en concreto, las redes sociales, estas nuevas posibilidades deben ser consideradas elementos clave en el futuro de la comunicación de crisis. En la construcción del mensaje, el emisor deberá ser consciente de que su información viajará más allá de las fronteras nacionales.

Tras un profundo ejercicio de crítica constructiva y siendo conscientes de que las decisiones que se tomen en la estrategia de comunicación pueden resultar determinantes para la confianza en el sector, los representantes de los 27 países volvieron a casa con el firme propósito de “seguir trabajando para alcanzar mejores prácticas para la comunicación e información a la sociedad civil”, tal y como apuntó el director general de la NEA, Luis Echávarri. De este modo se dio por concluido un taller que afrontó uno de los desafíos más importantes para los Estados miembros: la comunicación de crisis. ©

En consonancia con los compromisos de fomentar la transparencia y reforzar la participación pública en asuntos relacionados con la seguridad nuclear y la protección radiológica, el taller fue retransmitido en tiempo real a través de las webs institucionales de la NEA y del CSN. El material puede ser consultado en las siguientes direcciones: www.oecd-neo.org y www.csn.es.

REPORTAJE



› Lorena Cabeza Fernández,
Periodista científica

El conocimiento y el control del radón en las cuevas sigue siendo una asignatura pendiente

Oculto bajo la tierra

Inodoro, incoloro, insípido e indetectable por cualquiera de nuestros sentidos, el radón es el principal responsable de la radiactividad natural a la que nuestro cuerpo se ve sometido cada día. Su concentración en cuevas, minas o galerías puede alcanzar niveles extremadamente altos o, al menos, lo suficientemente importantes como para tener en cuenta la limitación del tiempo de exposición. Sin embargo, y a día de hoy, todavía en muchas de las cuevas y minas visitables o en explotación —con trabajadores que desarrollan ahí su actividad laboral— se desconocen cuáles son los niveles de radón existentes.

Cuando, a finales del siglo XIX y principios del XX, cientos de hombres se dedicaron a construir galerías hacia los acuíferos que todavía hoy surten a las islas de Tenerife y La Palma, no sospechaban que el aire que respiraban era venenoso. El entorno en el que trabajaban, unos pasadizos estrechos, sin ventilación alguna y que se adentraban varios kilómetros en las entrañas de la tierra, tenía unos niveles de radón inusitados, de hasta cientos de veces por encima de lo considera-

do “seguro”. Las condiciones en las que trabajaban estos hombres eran penosas, aun sin tener en cuenta el radón que llegaba a sus pulmones: a las largas jornadas excavando con pico y pala había que sumar el espacio escasísimo y la falta de oxígeno que se hacía evidente, según cuentan los mayores, cuando se apagaban las lámparas de carburo, asfixiadas, y los mineros salían del túnel rápidamente en busca de una bocanada de aire fresco. “Me hubiera gustado hacer un estudio epidemiológico



Dos miembros del equipo de Sergio Sánchez Morál calibran los sensores de radón en la cueva de Altamira.



Detectores de radón toman los datos que después se analizarán en el laboratorio.

gico de aquellos hombres —dice José Hernández Armas, catedrático de Física Médica de la Universidad de La Laguna—, aunque ya no creo que sea posible porque la mayoría de ellos han muerto. Pero aquella gente sí se metió en un ambiente de radón muy alto. Mis detectores se saturaban en una semana”.

En la oscuridad densa de esas galerías se concentraban, según este investigador, “decenas y hasta centenares de kilobecquerelios”. El becquerelio equivale a una desintegración radiactiva por segundo y, como marco de referencia, baste decir que el límite de concentración media anual de radón considerado seguro durante la jornada laboral es de 600 becquerelios por metro cúbico como media anual. “En esa época la gente se moría más joven y es posible que una gripe o algo así acabara con ellos antes, pero seguramente a más de uno sí le afectaría”, dice Hernández Armas. El radón-222, un gas noble radiactivo, tiene un período de desintegración de algo más de tres días y, en este proceso, da lugar a unos descendientes (el polonio 218 y el polonio 214) emisores de partículas alfa. Estas, que en el exterior no suponen peligro alguno debido a su

Medidas ejemplares

Las patas de la bestia que araba el olivar de Castañar de Ibor, en la provincia de Cáceres, se hundieron un día de 1967 señalando así la cueva del mismo nombre que treinta años después sería declarada Monumento Natural por sus valores tanto geológicos como científicos. La cavidad, de carácter kárstico aunque excavada en un terreno de dolomías y pizarras, se caracteriza no solo por la belleza de sus formaciones —espeleotemas— sino porque, además, alberga en su interior una de las concentraciones de radón más altas del mundo en cuevas naturales. Actualmente la gruta se encuentra cerrada al público por un problema de conservación, pero las medidas que se han tomado para su futura puesta en marcha hacen que Luis Santiago Quindós, catedrático de Radiología y Medicina Física de la Universidad de Cantabria, la califique como de “ejemplo a seguir”.

“La concentración media de radón está en torno a los 35.000 becquerelios por metro cúbico, y los máximos sobre 50.000. Esto es una barbaridad, claro, y si se abre de nuevo hay que hacerlo de manera muy restringida, no para el público, que va a estar allí muy poco tiempo y no le supone un riesgo, pero sí para los guías”, explica Sergio Sánchez Moral, investigador del Museo Nacional de Ciencias Naturales y coordinador del estudio que esta institución lleva a cabo en la cueva. Investigaciones precedentes han arrojado estos resultados que indican que los guías sólo pueden pasar un número muy reducido de horas al año dentro de la cueva, con lo que el uso de varios guías para un mayor número de visitas a la gruta, de manera segura, se hace imprescindible. Los mismos investigadores, explica Sánchez Moral, hacen turnos para no superar esta dosis: “Somos los primeros en asegurarnos de que no corremos riesgos”, señala.



José Hernández Armas, catedrático de Física Médica de la Universidad de La Laguna.

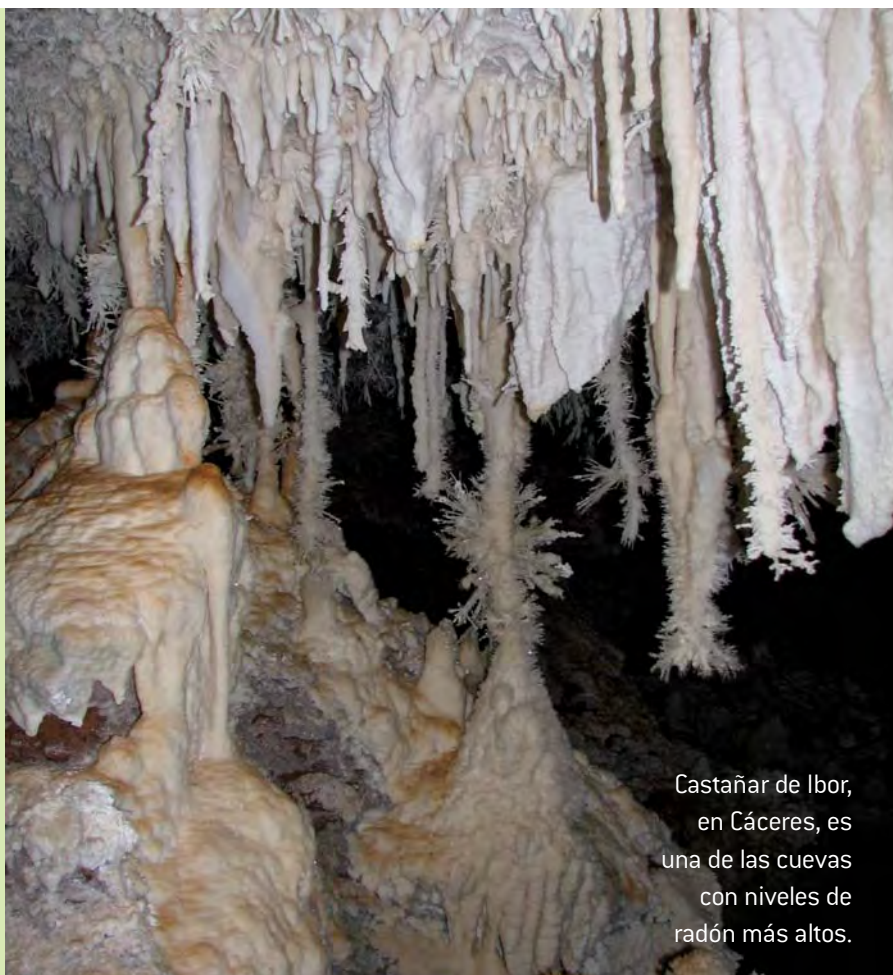
baja capacidad de penetración, en contacto directo con las células de nuestros pulmones pueden tener dos consecuencias: o bien esas células mueren, lo que paradójicamente no supone ningún problema, o bien quedan viables, pero modifi-

casas, lo que eventualmente podría dar lugar a un tumor. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el radón es la segunda causa en el mundo de cáncer de pulmón.

El radón procede de la desintegración del uranio y, por tanto, a priori podría parecer que sería en los resquicios de las paredes más ricas en este elemento —las graníticas, sobre todo— donde existen niveles más altos. Sin embargo, en las cuevas esto no es necesariamente así. Según Luis Santiago Quindós, catedrático de Radiología y Medicina Física de la Universidad de Cantabria, “la concentración de radón en una cueva no depende tanto de la zona geológica en la que se encuentre como de la ventilación de la sala. El uranio está en el subsuelo y si estás, por ejemplo, en una cueva caliza, puede haber una falla de la que emane ra-

Ahora, además, este equipo de investigación está llevando a cabo una dosimetría de área para saber con mayor exactitud en qué puntos hay concentraciones más altas de radón y calcular, así, cuál es la dosis efectiva recibida por el guía en función de la ruta realizada: “A través de linternas ultravioleta detectamos posibles anomalías —ya que donde hay más luminiscencia hay más uranio, y donde hay más uranio suele haber más radón— y luego colocamos detectores para confirmar que esto se cumple”, dice Sánchez Moral.

El caso de Castañar de Ibor es excepcional, y en la mayoría de las cuevas los niveles no son tan altos. Sin embargo, y como dice Sánchez Moral, “si no mides, no te enteras”. Conocer los niveles reales de radón en cuevas y minas —y especialmente en aquellas menos ventiladas— para después, y si fuera necesario, tomar las medidas convenientes, son los pasos a seguir para asegurar una convivencia segura con las emanaciones de este gas noble procedente de las entrañas mismas de la Tierra. 



DIPUTACIÓN DE CÁCERES

Castañar de Ibor, en Cáceres, es una de las cuevas con niveles de radón más altos.

dón. Quizá la cantidad sea pequeña, pero si la cueva no se ventila, el radón se va concentrando poco a poco”. Los expertos calculan que una cueva puede renovar su aire, a modo indicativo, cada cien o mil horas (mientras que una casa, en comparación, se puede airear en solamente una hora).

Elemento trazador

Esta relación íntima entre el radón y la ventilación de una cueva ha sido aprovechada por los científicos que, tradicionalmente, han utilizado este elemento como trazador para conocer con precisión la variación en el intercambio de gases entre el exterior y el interior de la gruta. Esta cuestión es especialmente importante en el ámbito de la conservación del patrimonio ya que si una cueva cuenta con, por ejemplo, una muestra de pinturas rupes-

tres excepcionalmente conservada, es porque esa sala ha estado muy aislada del exterior y, por tanto, es necesario mantener ese aislamiento. Así se ha hecho, por ejemplo, en Altamira, donde se ha encontrado una concentración de radón de hasta 7.000 becquerelios por metro cúbico, signo seguro de esa escasa ventilación que ha permitido que las pinturas lleguen casi intactas hasta nuestros días.

Sin embargo, no es éste el único factor que influye en la concentración de radón en cuevas o pasajes subterráneos. Cambios en el exterior en variables meteorológicas como la temperatura, la presión, etc., afectan al intercambio de aire con la cueva y, por lo tanto, a la concentración de radón. Los cambios estacionales del entorno de la cueva hacen que esta concentración varíe con ellos, pero estas alteraciones son

periódicas y se mantienen a lo largo del tiempo por lo que, una vez realizado se han hecho las mediciones oportunas, no es necesario repetirlas —aunque de hecho de cuando en cuando se haga, a modo de comprobación—.

La exposición de los trabajadores a este gas está regulada en España a través del Real Decreto 783/2001 de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes. En este decreto ya se contemplan lugares de trabajo específicos como balnearios, cuevas o minas. Sin embargo, la falta de concreción de la norma impidió su cumplimiento efectivo en los años que siguen por lo que, en 2010, se publica un nuevo Real Decreto, el 1439/2010, de 5 de noviembre, que modifica el anterior y donde se establece que serán los titulares de las

actividades laborales en las que existan fuentes naturales de radiación los responsables de realizar los estudios necesarios y presentarlos a los órganos competentes en materia de industria de las comunidades autónomas, así como de declarar la actividad laboral ante estos órganos. En enero de 2012 se publica en el BOE una nueva norma, la IS-33 del CSN, “sobre criterios radiológicos para la protección frente a la exposición a la radiación natural”, que desarrolla los artículos del decreto de 2010 y concreta el procedimiento a seguir. En cuanto a la presentación de los estudios por parte de los titulares, la IS-33 indica que se deberán remitir siempre que los niveles de exposición superen una concentración de 600 becquerelios por metro cúbico. En caso de que no se alcancen estos niveles, los resultados sólo deberán estar a disposición del CSN. Ahora bien, ¿hasta qué punto se observa esta normativa en la actualidad?

Hasta la fecha, lo cierto es que al CSN solo han llegado por los canales oficiales dos de estos estudios, los de las cuevas de Castañar de Ibor —una de las grutas con mayor concentración de radón en todo el mundo— y Altamira, que también presenta niveles altos de este gas en las épocas de menor ventilación. “Creo que hay muy pocos estudios presentados en relación con los que debería haber”, dice Quindós, uno de los mayores expertos en este campo y a quien preocupa el hecho de que las Administraciones no estén tomando las medidas necesarias para asegurar el cumplimiento de la norma. “¿En qué otra profesión se asume con toda normalidad un riesgo mayor —a veces, incluso, mucho mayor— que el que señala la ley? En ninguna”, afirma.

“Ahora nos encontramos en un momento de *impasse* desde que ha salido la legislación, se organizan las nuevas consejerías de las comunidades autónomas, etc.,

y estas cosas necesitan un margen de tiempo. También está influyendo, en mi opinión, la falta de dinero a todos los niveles”,



José Luis Martín Matarranz, consejero técnico del Área de Vigilancia Radiológica Ambiental del CSN.

explica José Luis Martín Matarranz, consejero técnico del Área de Vigilancia Radiológica Ambiental del CSN. “Hay otros países como Irlanda, Reino Unido o Francia que tienen más desarrollados los aspectos relacionados con la protección a la radiación natural. España está más retrasada en este tema, quizá porque la gente no le da mucha importancia a la exposición a la radiación de origen natural, pero hay que tener en cuenta que con el radón ni siquiera es necesario estar expuesto a concentraciones muy elevadas: basta con estar mucho tiempo expuesto a una concentración ligeramente alta”, señala.

Riesgos para la salud

Es importante tener en cuenta que, aun en las cuevas con niveles más altos de radón, estos no suponen un riesgo significativo para el público que visite la caverna de forma ocasional. El riesgo puede existir para los trabajadores o para cualquier persona que pase muchas horas, muchos días, en el interior de la cueva. “Cuando se habla de cuevas y exposición

a radón por motivos profesionales —dice Quindós— normalmente se piensa en los guías, pero también hay geólogos, arqueólogos, espeleólogos, etc., que pasan mucho tiempo dentro de la cueva”. Estos, a pesar de su especialización, a menudo no tienen en cuenta la posibilidad de que exista un alto nivel de radón en ese espacio natural y pueden ser, en realidad, profesionales expuestos a radiaciones. ¿A qué riesgos se enfrentan estos trabajadores?

Según la OMS el riesgo relativo de contraer cáncer de pulmón (es decir, la razón entre el riesgo de aquellos expuestos al radón y el de la población general) aumenta en un 16% al incrementarse la concentración de radón en 100 becquerelios por metro cúbico. “En España unas 1.600 personas sufren cáncer de pulmón debido a que respiran un aire contaminado de radón. Cuanto más alta sea la concentración a la que se exponen, y más tiempo pasen, más posibilidades tienen de contraer la enfermedad”, dice Quindós, que añade que actualmente hay trabajadores que desarrollan su labor de manera habitual en un entorno con niveles de radón claramente por encima de los límites que marca la ley. Además, Quindós indica que la dosis de radiación recibida por inhalación de radón en una cueva es mayor que en otros ambientes con concentraciones semejantes de este gas. Esto se debe a la pureza del aire de la cueva, que hace que haya una baja concentración de aerosoles que favorece que los descendientes inhalados de radón se de-



AGAPTO SANCHIDRIÁN

En la cueva de Nerja se han llevado a cabo investigaciones sobre el radón desde los años 90.

positen en zonas más sensibles del pulmón y sean, por lo tanto, más dañinos.

Por otro lado, y acerca de este riesgo para la salud, José Hernández Armas matiza: “Puedo decir con casi absoluta certeza que personas que pasen en cuevas [sin controlar] un número de días y horas considerable superarán la radiación permitida al público general, esto es, un milisievert al año. Ahora yo, como personal expuesto a radiaciones, tengo un límite de hasta 50 milisievert en un año [con un máximo de 100 milisievert acumulados durante cinco años consecutivos] y me considero protegido y creo que es un nivel de riesgo aceptable, ya que hasta los 100 milisievert no se ha establecido una relación causal entre la radiación recibida y el cáncer”. La cuestión estribaría en si hay trabajadores que reciban, sin ser conscientes de ello, dosis acumuladas de radiación significativas.

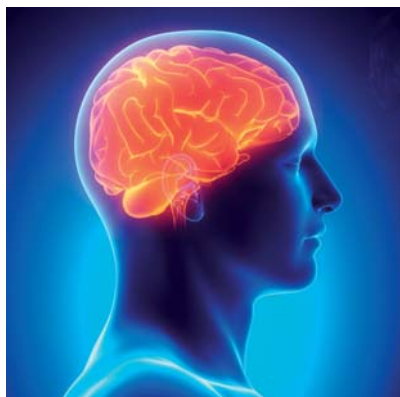
Cada cueva tiene unas características únicas y por eso la concentración de radón que posee es también diferente, independientemente de la zona geológica en la que se encuentre. En la Cueva del Vien-

to, por ejemplo, al norte de la isla de Tenerife, se han encontrado valores de hasta 9.000 becquerelios por metro cúbico mientras que en la cueva de Nerja apenas se alcanzan los 600 y habrá otras en las que la diferencia con el exterior sea casi inapreciable. “Por eso —dice Quindós— hay que hacer mediciones en todas las cuevas” o, al menos, en todas aquellas en las que se vaya a pasar una cantidad de tiempo considerable.

En estos momentos es difícil establecer con seguridad cuántas de las cuevas y minas abiertas al público para su visita han realizado ya los estudios pertinentes, ya que la mayoría de las comunidades autónomas aún no ha abierto el registro donde se guardarán. Algunas cuevas han venido haciendo estos estudios desde hace muchos años, y ahora solo necesitan oficializar la situación ante los registros correspondientes, una vez que estén abiertos. Como dice Juan José Durán, presidente de la Asociación de Cuevas Turísticas Españolas (ACTE), los titulares de estas cuevas son “conscientes de que esa legislación está ahí, hay que

hacer las mediciones y se están haciendo, pero la preocupación que trasladan es que el registro de la comunidad autónoma correspondiente no está abierto. ¿Qué pueden hacer entonces, si ya han hecho su estudio? Esperar, nada más”.

Otras, quizá con menos recursos, o con menos interés, aún no han llevado a cabo esta investigación. Para estas actividades la ley requiere que entre los 600 y los 1.000 becquerelios por metro cúbico se aplique un “nivel bajo de control” y, por encima de los 1.000 becquerelios, se lleve a cabo un control más estricto. Esto, en una cueva, se traduce en reducir el tiempo de exposición de los trabajadores, ya que no es posible disminuir la concentración de radón sin alterar las frágiles condiciones de estos parajes naturales. El futuro, por lo tanto, requiere seguir la senda ya trazada por otros países europeos y controlar y tomar las medidas oportunas para que aquellos que desarrollan su actividad laboral en estas cavidades tengan el mismo nivel de información y protección que el resto de los trabajadores. Nada más, y nada menos. ©



ISTOCKPHOTO

› Gonzalo Casino,
Periodista científico

El objetivo es hacer un mapa de las conexiones cerebrales tanto en la salud como en la enfermedad

Conectoma Humano, el gran proyecto de la neurociencia

La Neurociencia es una disciplina joven, con poco más de un siglo de vida, pero durante la mayor parte del siglo XX sus progresos han sido escasos y aislados. La declaración de los años 90 como la Década del Cerebro por parte del Gobierno de Estados Unidos significó un impulso para profundizar en el conocimiento del objeto de estudio más complejo. Casi todo lo que sabemos sobre el cerebro, que todavía es muy poco, se ha descubierto en este último cuarto de siglo. Pero los neurocientíficos reconocen que, hasta ahora, han trabajado de forma muy descoordinada y que necesitan integrar conocimientos. El objetivo es empezar a entender el diseño estructural y funcional del cerebro, y de paso encontrar soluciones para los problemas mentales y las enfermedades neurodegenerativas. En todo este esfuerzo destaca el llamado Proyecto Conectoma Humano, que va a ser una de las grandes empresas científicas del siglo XXI.

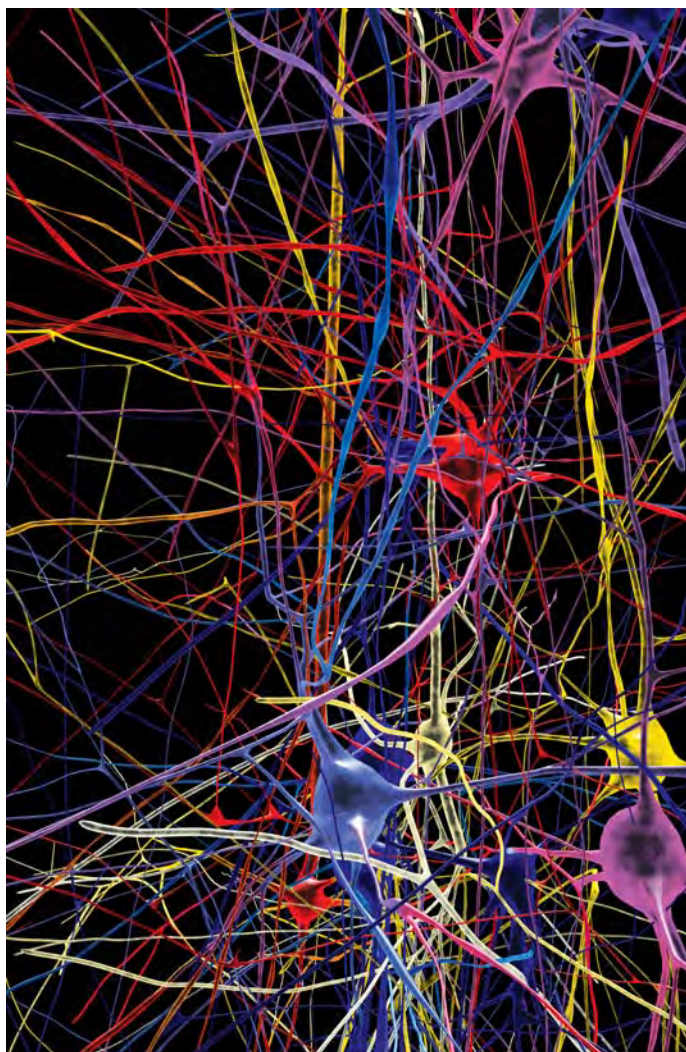
El Proyecto del Conectoma puede compararse en muchos aspectos al del genoma, que se inició a finales de la década de 1980 y tardó en completarse casi 15 años. Del mismo modo que la iniciativa del genoma pretendía descifrar la secuencia de 3.000 millones de letras o pares de bases del ADN humano, el Proyecto del Conectoma Humano se plantea conocer con detalle toda la circuitería del cerebro y sus sinapsis. El desafío de los neurocientíficos es, sin duda, de mucha mayor complejidad que el de los genetistas, porque entre otras cosas el volumen de datos que deben manejar es de una escala muy superior.

El cerebro humano, con sus 100.000 millones de neuronas y quizá unos 100 billones de sinapsis o conexiones, es de una endiablada complejidad. Los neurocientíficos asumen que el cerebro, a pesar de todos los recientes avances, sigue siendo prácticamente una caja negra. Para empezar a hacer hipótesis bien fundamentadas sobre su funcionamiento necesitan de forma imperiosa visualizar un mapa tri-

dimensional de todo este entramado neuronal y de los billones de puntos de contacto entre neuronas.

Los investigadores creen que esta empresa empieza a ser abordable porque, como ocurrió con el proyecto genoma, disponen ya de las necesarias herramientas tecnológicas, aunque habrá que perfeccionarlas y desarrollar otras. Oficialmente, la carrera del conectoma arrancó el 14 de julio de 2009, cuando el Departamento de Salud del Gobierno de EE UU lanzó el Proyecto del Conectoma Humano, dotado con 21,3 millones de euros para cinco años. Su objetivo era utilizar las nuevas técnicas de neuroimagen para elaborar un mapa de los circuitos del cerebro humano sano.

Pero al margen de este programa del Gobierno de EE UU, en los últimos años han empezado a tomar cuerpo otros proyectos internacionales que persiguen el mismo objetivo final. En mayor o menor medida, todos los países que cuentan con una ciencia avanzada, se están sumando a esta iniciativa. De entre todos ellos, quizá



BBP-EPSL

Simulación del "bosque" neuronal.

el más ambicioso es el europeo Blue Brain, un proyecto definido en 2008 a escala mundial para estudiar la estructura neuroanatómica y funcional del cerebro de los mamíferos y poder hacer simulaciones en ordenador que ayuden a entender cómo funciona tanto el cerebro sano como el enfermo.

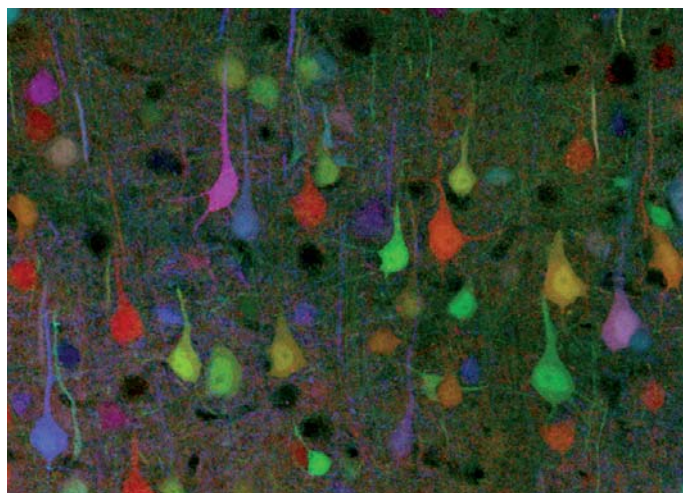
El Año de la Neurociencia en España

La idea del Blue Brain es que en este proyecto se vayan incorporando progresivamente laboratorios de investigación de todo el mundo para trabajar como un único laboratorio multidisciplinar. España, cuya principal aportación a la ciencia de todos los tiempos ha sido, sin lugar a dudas, la obra de Santiago Ramón

caja y de sus discípulos de la Escuela Histológica Española, se ha sumado a esta iniciativa con un proyecto denominado Cajal Blue Brain. Coincide además que el Congreso de los Diputados declaró 2012 como el Año de la Neuro-

ciencia en España, con el objetivo de dar impulso a la investigación neurocientífica en las universidades y centros de investigación españoles, a la transferencia de los conocimientos a la sociedad y a la enseñanza del funcionamiento del cerebro a los estudiantes y público general.

Uno de los primeros pasos que hay que dar para abordar el conectoma es conocer la estructura de una columna neuronal, que es la unidad estructural y funcional básica del cerebro. Esta unidad viene a ser como un cilindro de un cuarto de milímetro de diámetro y una altura de entre 1,5 y 4,5 milímetros, que es el espesor de la corteza cerebral. En el cerebro humano puede haber 50 millo-



JEAN LIVET

Neuronas de la corteza cerebral de un ratón coloreadas con proteínas fluorescentes.

y Cajal y de sus discípulos de la Escuela Histológica Española, se ha sumado a esta iniciativa con un proyecto denominado Cajal Blue Brain. Coincide además que el Congreso de los Diputados declaró 2012 como el Año de la Neuro-

ciencia en España, con el objetivo de dar impulso a la investigación neurocientífica en las universidades y centros de investigación españoles, a la transferencia de los conocimientos a la sociedad y a la enseñanza del funcionamiento del cerebro a los estudiantes y público general.

Y aquí es donde entra la Neurociencia española en escena. La iniciativa Cajal Blue Brain, en la que participan siete equipos de diversos centros españoles, se va a encargar de estudiar la organización anatómica y funcional de una columna cortical de rata. El objetivo es conocer este bosque de unos 8.000 a 10.000 árboles (neuronas) entrelazadas por infinidad de lianas (conexiones sinápticas). Se prevé tener la estructura completa de una columna antes de 2014, para luego estudiar las columnas de otras especies y del ser humano.

Esta información permitiría, entre otras cosas, estudiar en el ordenador el funcionamiento de la corteza cerebral y simular la acción de fármacos y las alteraciones causadas por la enfermedad de Alzheimer y otras patologías. Pero el camino no ha hecho más que empezar. Hasta ahora, el único conectoma conocido es el del gusano *C. Elegans*, que cuenta con sólo 302 neuronas para coordinar todas

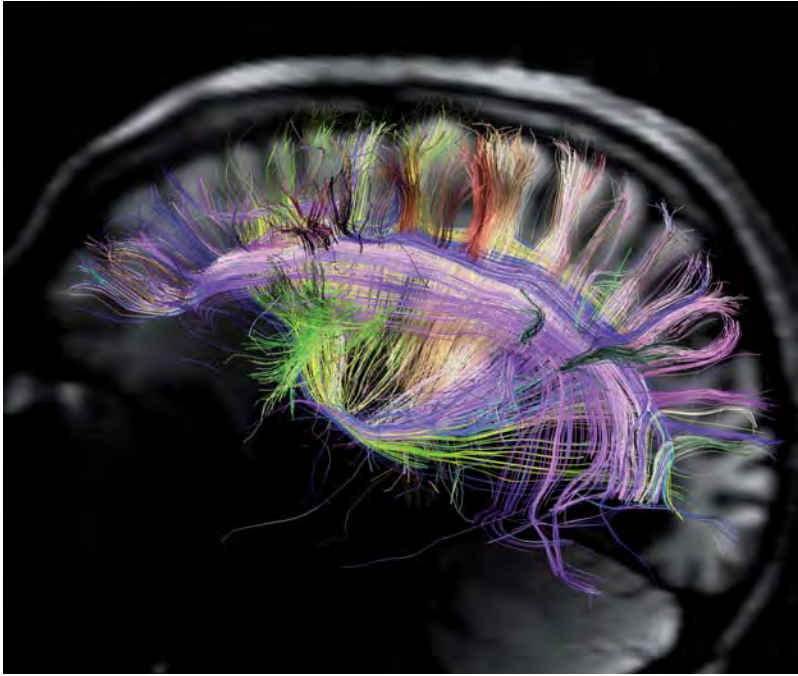


Imagen de la estructura fibrilar ortogonal del cerebro humano obtenida con resonancia magnética por difusión espectral. A la derecha, imagen de conexiones neuronales obtenida por el consorcio UCLA-Harvard para el Proyecto Conectoma Humano.

sus funciones vitales, y por eso ha sido una empresa sencilla.

Pero pasar de un gusano a un mamífero como la rata es un salto enorme y difícil, aunque necesario para entender el cerebro humano. Además, la visualización tridimensional del cerebro es solo parte del problema. Los investigadores asumen que, además de perfeccionar los microscopios y otras tecnologías de la imagen, van a necesitar manejar toda esa información visual, para lo que precisan superordenadores con un enorme poder de computación.

Cabe preguntarse para qué hace falta tener una imagen real y completa de la estructura neuronal del cerebro. Y la respuesta es que los neurocientíficos necesitan ver para imaginar y para plantear buenas hipótesis. En el caso del genoma, sólo después del descubrimiento de la estructura de doble hélice del ADN los científicos pudieron visualizar y entender cómo se emparejaban las bases y descifrar el código genético. El conectoma sería el equivalente de estructura de doble hélice.

El arco iris cerebral

Uno de los puntos de referencia del Proyecto Conectoma es la Universidad de Harvard, en EE UU. Allí, el neurobiólogo Jeff L. Lichtman, del Center for Brain Science, ha desarrollado un ingenioso método para visualizar las conexiones neuronales, una especie de *micromondador* de cerebros. Este artilugio de precisión es capaz de cortar una loncha ultrafina, de menos de 10 nanómetros de espesor y 5 metros de largo, que se fija inmediatamente a una cinta transparente que luego puede ser estudiada con el microscopio.

El microtomo creado por Lichtman se denomina Atlum (acrónimo de *automated tape-collecting lathe ultramicrotome*) y es una de las primeras aportaciones para el Proyecto Conectoma, del que el neurobiólogo de Harvard es uno de sus principales impulsores. Uno de los mayores problemas para representar la maraña de cables del cerebro es identificar de qué neurona es cada prolongación. Para solventarlo, Lichtman ha desarrollado un método ingenioso que

permite marcar las neuronas con proteínas fluorescentes y conseguir que expresen hasta 90 tonalidades diferentes. Las imágenes obtenidas con esta técnica, publicadas en *Nature* el 1 de noviembre de 2007, son espectaculares. Lichtman denomina a esta técnica *Brainbow*, una palabra que resulta de combinar *brain* (cerebro) y *rainbow* (arco iris).

Pero ésta es sólo una aproximación. Lo importante es que cada vez más grupos de investigadores en todo el mundo están participando en el proyecto del conectoma con aproximaciones muy diversas, y que toda la información va añadiendo nuevos datos y posibilidades al proyecto integrador. Así, por ejemplo, el 10 de julio de 2011 se anunciaba en *Nature Neuroscience* que un grupo de investigadores del Max Planck Institute for Medical Research, en Heidelberg (Alemania), había desarrollado un nuevo *software* (denominado Knossos) que mejoraba la visualización de las neuronas y sus sinapsis en color.

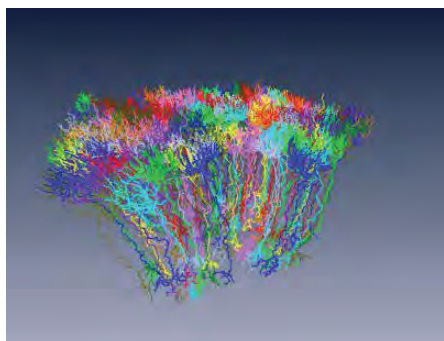
Isótopos para visualizar el cerebro

Entre las técnicas de visualización del cerebro humano, las que utilizan isótopos radiactivos brillan con luz propia. La tomografía por emisión de positrones (PET) y la tomografía computarizada por emisión de fotones individuales (SPECT) son dos valiosas técnicas con importantes aplicaciones en la clínica y la investigación. Ambas utilizan rayos gamma y, junto con la resonancia magnética funcional y otras técnicas funcionales, permiten algo muy importante e impensable hace unos pocos años: observar al cerebro en acción, mientras piensa en algo concreto, experimenta una determinada emoción o ejecuta alguna tarea.

En las exploraciones cerebrales con PET o SPECT se inyecta una sustancia radiactiva en la sangre que llega hasta las estructuras cerebrales, donde emiten una ligera radiación que es captada por una cámara gamma, lo que permite medir la actividad neuronal. Ambas técnicas informan sobre qué parte del cerebro presenta mayor actividad cuando se realiza alguna acción con-

creta (observar, recordar, hacer un cálculo), para así evaluar la participación de las diferentes estructuras cerebrales o detectar posibles deficiencias. Aunque generan imágenes bidimensionales (las típicas lonchas de las técnicas tomográficas) es posible ensamblar informáticamente un montón de ellas para producir una imagen tridimensional que crea una ilusión de realidad.

El SPECT utiliza un radioisótopo emisor de rayos gamma que, unido a una molécula biológicamente activa o ligando, se introduce en la corriente sanguínea para que llegue al cerebro y según las propiedades del ligando se concentre en las estructuras que se quiere visualizar. En el PET el procedimiento es muy similar, con la diferencia de que, mientras en el SPECT es el isótopo el que produce directamente el rayo gamma, en el PET el isótopo produce un positrón que se aniquila con un electrón para dar lugar a dos fotones gamma que se emiten en direcciones opuestas. En ambas técnicas, la radiación gamma producida queda registrada como imagen bidimensional en un detector gamma, pero las obtenidas con PET tienen una mayor resolución que las obtenidas con SPECT.



MPI FOR MEDICAL RESEARCH

Reconstrucción mediante el *software* Knossos de la estructura espacial de 114 neuronas de la retina del ratón.

Primer boceto de la estructura fibrilar

Más recientemente, un equipo del Hospital General de Massachusetts (Estados Unidos) publicaba en la revista *Science* (30 de marzo de 2012) un boceto de la arquitectura de las fibras del cerebro humano elaborado con nuevas técnicas de imaginería cerebral. Sorprendentemente, esta red tridimensional se parecía más a la tupida estructura regular de una tela, en la que las diagonales brillan por su ausencia, que al enmarañado revoltijo de cables de un plato de espague-

tis. “Hemos descubierto que el cerebro está hecho de fibras paralelas y perpendiculares que se cruzan entre sí de forma ordenada”, señalaba Van J. Wedeen, del Hospital General de Massachusetts e investigador principal del estudio.

Esta investigación, que aporta un primer boceto general del entramado fibrilar del cerebro, ha sido financiada en parte con los recursos del Proyecto Conectoma Humano de los Institutos Nacionales de Salud (NIH) estadounidenses. Y ha sido posible gracias al desarrollo de un nuevo escáner de resonancia magnética, denominado de imagen por difusión espectral. “La obtención de un diagrama de alta resolución del cableado de nuestro cerebro es un hito en la neuroanatomía humana”, ha señalado Thomas R. Insel, director del Instituto Nacional de Salud Mental de EE UU.

De todas maneras, para tener siquiera un esbozo del conectoma humano completo queda mucho trabajo por hacer y muchos problemas por resol-

ver. Puede que el concurso de investigadores de todo el mundo y las herramientas disponibles no sean suficientes, y haga falta desarrollar nuevas tecnologías. Además, hay que tener en cuenta que el cerebro es dinámico y sus conexiones cambian con la edad y como resultado del aprendizaje, pero también como respuesta a lesiones o procesos degenerativos.

Sólo las fibras neuronales rápidas, las que están cubiertas de mielina, pueden sumar una longitud de entre 150.000 y 180.000 kilómetros. Si nos imaginamos las vueltas que pueden dar en espacio tan pequeño (apenas 1.500 centímetros cúbicos) y que las células gliales del cerebro son entre 10 y 50 veces más numerosas que las neuronas, es fácil entender la complejidad de todo este entramado de fibras y conexiones. El Proyecto Conectoma Humano tardará décadas en culminarse, pero por el camino irá dejando probablemente información muy valiosa para entender tanto el cerebro sano como el enfermo. ©



› Eugenia Angulo,
Química y divulgadora

Las nuevas tecnologías revolucionan el campo de la restauración y conservación de obras artísticas

Cirujanos del arte

Robots de 3 metros de alto fotografiando *El Guernica*, sofisticados láseres que limpian el cuerpo de esculturas de más de 2.500 años, atribuciones inesperadas a un pintor del que se conservan pocas obras, Bruegel el Viejo, con *El vino de la fiesta de San Martín*, que ya se exhibe en la sala de pintura flamenca del Museo del Prado o el redescubrimiento de *La Gioconda del taller de Leonardo* que ha pasado de mera réplica a pieza clave para comprender el momento. El tremendo desarrollo actual de la ciencia y la tecnología está inundando el campo de la conservación y restauración de obras de arte facilitando las intervenciones, la identificación del autor de una obra, el conocimiento de su forma de trabajar e incluso dar la vuelta al modo en que hasta entonces se contemplaba su trayectoria. Hoy, un taller de restauración se parece más a un enorme quirófano donde los restauradores e historiadores de arte conviven con científicos, ingenieros o informáticos. El arte ha unido dos ámbitos tradicionalmente alejados: las ciencias y la humanidades. Es la nueva restauración del siglo XXI.

Un rayo de luz roja recorre el cuerpo de una de las seis cariátides, estatuas femeninas de mármol que han pasado más de 2.000 años observando la ciudad de Atenas desde el templo del Erecteión, en la Acrópolis ateniense. El haz se concentra en un punto de su pecho izquierdo, como si estuviese dirigido por el pulso firme de un francotirador que ya ha decidido su objetivo. De pronto, la luz cambia de rojo a blanco brillante y comienza a parpadear. Se oye un sonido similar al crujir de una rama y una pequeña columna de humo asciende desde la superficie del mármol. La pesadilla de un amante del arte. El visitante, que observa la escena horrorizado, contiene la respiración temiendo que el disparo haya abierto un agujero en la piel de esta estatua del siglo V a. C.

Desde que se construyera hace más de 2.500 años, el templo del Erecteión junto al resto del conjunto monumental de la Acrópolis ha sufrido incendios, terremotos, recibido el impacto de bombas, padecido la barbarie de sucesivas invasio-

nes, los saqueos. Y desde hace menos tiempo, el acecho de un inmenso ejército que se mueve más rápido que ninguno de los que ha sufrido en su agitado pasado: la polución de una ciudad de cuatro millones de habitantes que cada año recibe a infinitas hordas de turistas.

Esta pátina de siglos, polvo y contaminación ha ido cayendo en forma de gruesa capa de costra negra sobre el conjunto monumental, envolviendo las delicadas partes esculpidas de los frontones y metopas del friso que rodea al Partenón y a las preciosas cariátides del Erecteión. A principios de los 90, las esculturas tuvieron que ser retiradas bajo la protección del Museo de la Acrópolis a la espera de que los restauradores idearan un método de limpieza moderno que no dañara su superficie. Hasta se pensó en cubrirlas con una bóveda en su localización original, lo que logísticamente era prácticamente inviable en la inclinada colina sobre la que se asienta la Acrópolis atenisense.

Ahora, un equipo de científicos del Instituto de Láser y Estructura Electrónica



IESL



Las cariátides del Erecteion durante el proceso de restauración y limpieza.

(IESL, por sus siglas inglesas) perteneciente a la Fundación para la Investigación y la Tecnología-Hellas, en Creta, ha puesto en marcha un avanzado laboratorio de láseres en pleno Museo de la Acrópolis, completamente abierto a la mirada de los visitantes que pueden ver cómo la más alta tecnología está siendo utilizada *in situ* para devolver a las esculturas su antigua gloria. El visitante respira. La luz roja no ha abierto un agujero en la piel de la estatua, al contrario, ha revelado su blanco original y frenado el implacable avance del deterioro.

La limpieza con láseres, procedentes de la cirugía clínica, es una de las técnicas más utilizadas en la actualidad por los restauradores en estatuas, monumentos y otras obras de arte. Es mucho menos agresiva que los disolventes químicos o los métodos mecánicos —se cuenta que unos especialistas ingleses del Museo Británico frotaron las esculturas que Lord Elgin había mandado arrancar y serrar de la Acrópolis con cepillos de púas de acero! para que se vieran más blancas—.

Pero en el caso de materiales tan frágiles y valiosos como los de las Cariátides, los expertos tenían ciertas reservas hasta que el grupo dirigido por Costas Fotakis del IESL dio una vuelta de tuerca: ideó un sistema que trabaja a dos longitudes de onda simultáneamente, a 1.064 nanómetros en el infrarrojo y a 355 en el

ultravioleta. Con este sistema, el equipo restauró con éxito las partes esculpidas de los frontones y las metopas del friso del Partenón, especialmente del frontón oeste. Y ahora, los científicos están aplicando este sistema por primera vez para la restauración de las Cariátides —que pesan unos 800 kilogramos y tienen varios metros de altura— bajo la curiosa mirada de los visitantes.

Limpiar con radiación láser significa eliminar la contaminación con luz colimada. Los potentes haces de radiación focalizada golpean la superficie durante una billonésima de segundo y la capa externa absorbe la mayoría de la energía, de manera que la radiación se transforma en energía térmica que es capaz de eliminar

—vaporizar— la capa de contaminación superficial. El resultado es que el material base es limpiado de forma suave, sin sufrir daños debido a que los pulsos son extremadamente cortos y localizados.

El sistema de Fotakis trabaja además a dos longitudes de onda simultáneamente, de manera que es capaz de eliminar la gruesa capa de polución acumulada de una forma segura para el débil material original. La combinación de las dos longitudes de onda —sistema de doble longitud de onda o técnica del infrarrojo/ultravioleta— asegura que no se produzcan decoloraciones o daños después de que algunos intentos iniciales, que usaron solo radiación infrarroja, causaran una decoloración amarilla.



UNIVERSIDAD DE CORNELL

Uso de rayos X confocales para examinar capas de pintura subyacentes.

Por proyectos como este gigantesco proceso de restauración de las esculturas de la Acrópolis, el Instituto de Investigación Tecnológica de Creta se ha convertido en un centro de referencia en el mundo del arte. Recientemente, recibió una obra que no tiene nada que ver con las estatuas griegas, una de las *Black Painting's* que el pintor abstracto estadounidense Ad Reinhardt elaboró en la década de los 60.

Esta serie de pinturas aparentan ser simplemente lienzos pintados en negro pero en realidad están compuestas de varias tonalidades de negros y cuasi negros. En concreto la obra que llegó a Creta, donada para su restauración a expertos del Museo Guggenheim y del Museo de Arte Moderno (MoMA), había sido tratada con otra capa de color negro para ocultar daños previos. El problema consistía en eliminar este exceso de pintura sin dañar las capas inferiores que sí formaban parte de la obra original.

En este caso, los expertos griegos utilizaron solo láseres ultravioleta, algo habitual en el caso de pinturas, pues los infrarrojos con los que suelen trabajar son demasiado poderosos. Mientras éstos operan mediante calentamiento de la capa a eliminar produciendo diminutas ondas de choque que recorren la superficie, explotándola, los UV rompen los enlaces químicos entre las moléculas que componen la capa no deseada que queda flotando como una especie de vapor.

Pero además, estos láseres ideados en Creta van acompañados de dispositivos que ayudan a detectar qué capa están atravesando. A diferencia de las esculturas, donde el mármol hace de barrera natural frente a la radiación, las distintas capas de pintura —deseadas y no deseadas— son igualmente susceptibles a la acción del haz de luz. En este caso el laser se utiliza en sí mismo como una sonda. El brillo emitido desde la superficie proporciona información sobre la composición de la



El bosque de Goldgate [2006], de David Hockney.

capa de materia que está atravesando, información que alimenta un ordenador que se programa para que apague el láser cuando éste pasa de una capa a otra.

Y los láseres, por muy sofisticados que sean, son solo uno más de la panoplia de instrumentos científicos que restauradores y conservadores están utilizando para proteger, estudiar e intervenir las piezas que cuidan. En la actualidad, las obras de arte pueden ser bombardeadas con luz de diversas longitudes de onda (desde el infrarrojo de los láseres de limpieza hasta luz sincrotrón, pasando por los tradicionales rayos X); son expuestas a haces de electrones; inoculados con bacterias e incluso, leídas en su conformación más íntima por técnicas reflectográficas que demuestran la cantidad de intentos

que los artistas han necesitado hasta llegar a la composición buscada.

Y para la propia creación, los artistas se están sirviendo de la más moderna tecnología, como es el caso del pintor David Hockney que a sus 75 años acaba de inaugurar, en el Guggenheim de Bilbao, la exposición “David Hockney: una visión más amplia”, en la que se mostrarán algunos de sus paisajes arbóreos de la campiña inglesa hechos con su iPad (el iPhone le parecía un poco limitado).

Paradójicamente, el arte ha unido a dos ámbitos tradicionalmente separados: las ciencias y las humanidades. El tremendo desarrollo de la ciencia y la tecnología de los últimos tiempos ha encontrado un campo perfecto de actuación en el área de la restauración, conservación



Línea de luz sincrotrón en el European Synchrotron Facility (ESRF).

y creación de obras de arte. Ahora, un taller de restauración se parece más a un enorme quirófano donde los restauradores e historiadores del arte conviven con científicos, ingenieros o informáticos y sus máquinas de rayos, sus robots, sus minipipetas, sus diminutas espátulas para la toma de muestras casi microscópicas o sus súper *cluster* de ordenadores. Un espacio para la unión de las dos culturas. Un ágora como el que las cariátides han observado durante siglos desde la quietud del templo que decoraban.

Proyecto Pablito

Jorge García Gómez-Tejedor es el jefe de restauración del Museo Reina Sofía y últimamente ha concedido muchas entrevistas como el padre de un robot de 9 metros de largo y 3,5 de alto al que los medios han apodado *Pablito*. Este “automatismo robotizado”, como prefieren llamarlo en el museo, se pone en funcionamiento en cuanto los visitantes abandonan las salas: armado con diferente sensores y cámaras y controlado por un ordenador, se desplaza con precisión de 25 micras (el grosor de un pelo humano oscila en torno a las 100 micras) para digitalizar los 349,3 x 776,6 centímetros de la obra más famosa de Pablo Picasso y también la más controvertida en cuanto a conservación: el icónico y universal *Guernica*.

“Llevábamos tiempo trabajando en estudios de técnicas para conseguir la fotografía completa de una obra, en diferentes longitudes de onda, por suma de tomas. Cuando lo hacíamos de forma analógica, tomábamos la fotografía completa. Pero al pasar a trabajar en formato digital, hemos querido avanzar y eso exige más calidad, más definición, más tomas, de manera que al final estamos obligados a hacerlo de una forma automática, con un sistema automatizado. El caso de *El Guernica* ha sido darle una vuelta más de tuerca, por sus dimensiones y porque se trata de una pieza icónica”, ex-

Lo que el espectro nos revela

Luz visible: el estudio mediante macrofotografía con luz natural permite conocer con más detalle la técnica del artista, así como apreciar con mayor definición el estado de conservación de la capa pictórica.

Luz ultravioleta: muestra las diferentes respuestas fluorescentes que dan los materiales presentes en sus capas exteriores. Su intensidad cromática varía dependiendo de las distintas propiedades y de la antigüedad de la aplicación de los diferentes elementos que forman la superficie de una pintura. Esto permite identificar visualmente la presencia de repintes o añadidos cromáticos no originales, el empleo por el artista de diferentes aglutinantes y barnices o el estado y grosor de la capa de barniz que la cubre.

Luz infrarroja: muestra los comportamientos de las capas subyacentes de color en el espectro no visible. Las técnicas de radiación infrarroja se utilizan en el examen de objetos artísticos, desde la década de los sesenta del siglo pasado, pero a partir de su digitalización se han producido espectaculares hallazgos de dibujos subyacentes, arrepentimientos en la composición o detalles ocultos como firmas o inscripciones. Es especialmente eficaz en las técnicas pictóricas basadas en una capa de preparación reflectante, un dibujo y la aplicación de sucesivas capas de veladuras sobre él.

Rayos X: permite apreciar todos los elementos constitutivos de la obra: bastidor, sistema de montaje, soporte original y de refuerzo, elementos presentes en el reverso, así como el alcance de craquelados y pérdidas en la capa pictórica. ■



El robot *Pablito* durante la digitalización de *El Guernica*, de Pablo Picasso.

MNCARS

En busca del Da Vinci perdido

Todo lo relacionado con Leonardo da Vinci da para escribir best-sellers, rodar películas o, en este caso, protagonizar grandes polémicas como la que estos días sacude el mundo del arte. En 1503, Leonardo recibió el encargo de pintar *La batalla de Anghieri*, un fresco que recrea la victoria de los florentinos sobre las tropas milanesas a mediados del siglo XV, para la decoración de la sala del Gran Consejo en el Palacio Vecchio, en Florencia. Copias como la que pintó Rubens, que hoy se conserva en el Louvre, parecen indicar que el maestro terminó la obra. Sin embargo, nunca más se ha vuelto a saber de ella hasta ahora, cuando un equipo de expertos dirigido por Maurizio Seracini afirma que el fresco se encuentra oculto tras otra, *La batalla de Scannagallo*, pintada por Giorgio Vasari en 1565 sobre la misma pared del palacio Vecchio, sede actual del Ayuntamiento de Florencia.

La polémica es la siguiente: en la búsqueda de *El Da Vinci perdido* (nombre del documental que Seracini ha rodado con National Geographic para demostrar sus teorías), los expertos han perforado el mural de Vasari para introducir una sonda endoscópica equipada con una microcámara. Así han determinado la presencia de un pigmento negro cuya composición, principalmente manganeso y algo de hierro, es la misma que el utilizado para pintar *La Gioconda*, lo que parece dar la razón a Seracini. Sin embargo, esta técnica resulta extremadamente agresiva para el fresco de Vasari según un grupo de 500 intelectuales entre los que se encuentran expertos del Louvre, la National Gallery o el Metropolitan Museum de Nueva York y que han firmado un manifiesto contra la investigación por considerarlo una violación del patrimonio.

plica Gómez-Tejedor. Este proyecto, no en vano titulado *Viaje al interior del Guernica*, tiene el objetivo de estudiar de la manera más exhaustiva el estado de conservación actual de la obra.

Para ello, *Pablito* trabaja tomando millones de imágenes en luz visible, infrarrojo multiespectral, luz ultravioleta, reflectografía espectral y escaneado en 3D. Sofisticación tecnológica al servicio del arte, el proyecto cuenta con la participación de investigadores del Departamento de Óptica de la Universidad Complutense de Madrid, desarrolladores de software para el diseño del movimiento del automatismo y de empresas especializadas en robótica. Cuando concluya, se podrá navegar por la superficie del cuadro en 3D o superponer diferentes capas de las digitalizaciones en un cuasi verdadero viaje por el interior de la obra.

Hasta el momento, *Pablito* ha fotografiado la obra en el espectro visible en dos diferentes resoluciones, habiendo llegado a tomar en la segunda, más fina, más de 20.000 fotos. “Ahora lo vamos a hacer igual en el UV, en el que ahora estamos trabajando, y de ahí pasaremos al IR en el que utilizaremos dos cámaras de diferente re-

solución”, añade Gómez-Tejedor, quien se muestra muy cauto a la hora de hablar de una posible restauración. “No es nuestra intención pero, por ejemplo, hicimos el estudio con estas resoluciones sobre *Mujer en azul*, también de Picasso, y luego nos lanzamos a hacer la restauración”.

El caso de la *Mujer en azul* también osciló recientemente en la caja de resonancia que son los medios de comunicación, abriéndose paso entre la crisis económica y el deporte. Las bondades de trabajar con un Picasso. Los conservadores tenían muy claro dos factores que entorpecían el diálogo de la obra con el espectador: “Una capa externa de barniz que daba un cierto tono amarillento al lienzo por su oxidación y una serie de repintes posteriores a la fecha de creación de la obra que habían cambiado de color con el tiempo, haciéndose excesivamente presentes, y que cubrían zonas de la pintura original”, detalla el conservador.

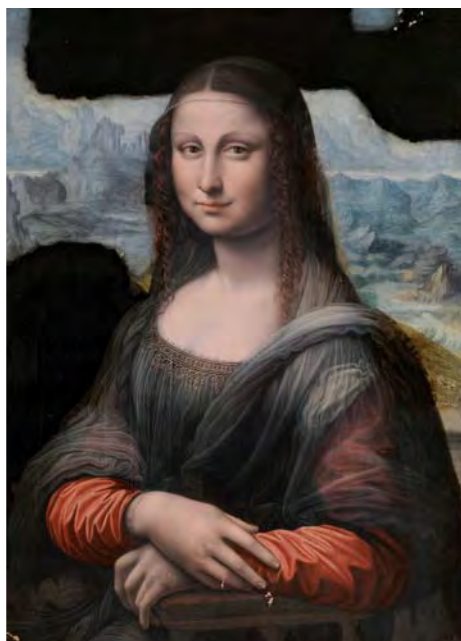
La pintura fue sometida a una variedad de tratamientos: microscopía electrónica para examinar la capa pictórica y buscar daños en la superficie; espectrometría infrarroja para analizar los diferentes tipos de compuestos que forman parte

de aglutinantes, adhesivos, recubrimientos o pigmentos; y la técnica de pirolisis-cromatografía de gases-espectrometría de masas que pasa muestras de pintura vaporizada a través de un dispositivo que separa e identifica moléculas orgánicas. Los restauradores-científicos rebuscaron en la obra y tomando muestras microscópicas encontraron, en la capa de barniz, un material sintético inexistente en la fecha de realización de la pintura, a principios del siglo pasado, con lo cual se aseguraba que había sido un añadido posterior.

“Todas las intervenciones se hacen para evitar un daño que se ha creado o que está surgiendo. Nunca modificamos la esencia de la obra, ni queremos hacerla más resistente a nada. Huimos de las intervenciones completas y queremos que sean lo más reversibles posible. Somos los que pensamos no en el público de ahora, sino en el del futuro”, concluye.

Arte estrella

La mayoría de las veces, los tratamientos a los que someten los científicos-restauradores las obras de arte son parte de revisiones rutinarias o, en el peor de los casos, de intervenciones de urgencia para



Arriba, *La Gioconda del taller de Leonardo*, de El Prado, antes de ser restaurada, durante el proceso y su resultado final. Abajo, comparación de un detalle de la obra de Leonardo y la de su alumno (derecha), realizado mediante reflectografía.

salvarles o alargarles la vida. Pero en algunas ocasiones, la labor de estos cirujanos del arte traspasa las sutilezas de la profesión (eliminar un repinte, añadir parches de tela, forrar con tela de algodón...) para convertirse en descubrimientos artísticos de alto voltaje. En estos casos, las nuevas técnicas científicas pueden llegar a cambiar la autoría de una obra, influir en el conocimiento que se tiene sobre un autor y su trabajo o, incluso, dar la vuelta al modo en que hasta entonces se contemplaba la trayectoria de un artista.

Y eso es precisamente lo que ha pasado recientemente en el Museo del Prado con dos intervenciones estrella. Por una parte, el redescubrimiento de *La Gioconda del taller de Leonardo*—procedente de las Colecciones Reales españolas que sembraron la semilla de lo que más tarde se convertiría en el museo— ha puesto de manifiesto que la obra fue realizada por algún discípulo del maestro al mismo

tiempo que este pintaba el retrato original conservado en el Museo del Louvre. Esto ha mudado la réplica en la copia más importante y antigua del famoso retrato y en pieza esencial para comprender el modo en que funcionaba el taller de Leonardo.

Por su parte, el rescate de *El vino de la fiesta de San Martín* de Pieter Bruegel el Viejo, ha sido considerado por los expertos como el mayor acontecimiento de la pintura flamenca en los últimos 25 años. El lienzo llegó al Prado por mediación de la casa de subastas Sothebys para que fuera restaurado e investigado y poder confirmar su autoría. Cuando se encontró inesperadamente la firma del autor, que había permanecido oculta, se revolucionó el mundo del arte pues hasta la fecha se conocían poco más de 40 obras de este pintor flamenco.

En estos casos, la técnica estrella ha sido la reflectografía infrarroja, una forma de buscar las sucesivas capas ocultas

bajo la superficie visible de la pintura, lo que revela la cantidad de intentos que hasta los mejores artistas han necesitado para conseguir la composición técnica y pictórica buscada. La luz infrarroja, que tiene una longitud de onda mayor que la luz visible, puede penetrar en la superficie de la pintura pero también ser reflejada por dibujos subyacentes que han sido cubiertos por pinceladas posteriores. Aplicando filtros adecuados a la cámara que registra la luz reflejada, es posible tomar fotografías claras de estos dibujos ocultos.

En *La Gioconda del taller de Leonardo*, la comparación del resultado de la primera reflectografía infrarroja con la del original llevó a profundizar en el examen de la obra y, finalmente, a abordar su restauración. Ahora se tiene valiosa información tanto sobre el paisaje de fondo, antes cubierto por una gruesa capa oscura, como sobre muchos detalles que rodean a la dama: los ejes de la silla, los adornos

de la tela que cubre su pecho, el velo semi-transparente que envuelve sus hombros...

Pero si hay algo enigmático de la verdadera Mona Lisa que vive en el Louvre es su rostro, ¿cómo fue Leonardo capaz de pintarlo? Para contestar a esta pregunta, un equipo de científicos del Laboratorio de Investigación y Restauración de los Museos Franceses, en colaboración con el ESRF (European Synchrotron Facility, sincrotrón europeo situado en Grenoble, Francia) y el Museo del Louvre, han realizado el primer análisis químico cuantitativo sin extraer muestras sobre siete rostros pintados por Leonardo, incluyendo el de *La Gioconda*, *La Virgen de las Rocas*, *San Juan Bautista*, *La Anunciación*, *Baco*, *La Belle Ferronnière*, *Santa Ana* y *La Virgen y el Niño*.

Los siete rostros comparten la característica del *sfumato*, una técnica pictórica de sutiles efectos ópticos que producen contornos borrosos, suavizan las transiciones y mezclan las sombras que casi parecen humo. Esta técnica no es solo el resultado del genio del artista sino también de las innovaciones tecnológicas que estaban ocurriendo a principios del siglo XVI y, aunque ha sido muy estudiada, no se sabe con certeza la naturaleza del procedimiento ni la composición y espesor de cada capa pictórica aplicada por el pintor.

Los científicos, armados con un generador portátil de rayos X para aplicar la técnica denominada “fluorescencia de rayos X” *in situ* en las salas del Louvre, han encontrado diferentes recetas usadas por Da Vinci para hacer las sombras en las caras. Los resultados muestran que el *sfumato* se conseguía usando varias capas de esmalte o una pintura muy fina cargada de distintos pigmentos orgánicos. En el caso de los esmaltes, que superponía para crear profundidad y volumen, las capas son muy delgadas —de 1 a 2 micrómetros— y se aplican para obtener un espesor total de no más de 30 a 40 micrómetros. De esta manera, Leonardo conseguía que sus obras parecieran listas para echar a andar.



MUSEO NACIONAL DE EL PRADO



MUSEO NACIONAL DE EL PRADO

El vino de la fiesta de San Martín de Bruegel el Viejo, antes y después de su restauración.

En este caso los científicos no tomaron muestras, pero en otras ocasiones no tienen más remedio, especialmente si las van a analizar en enormes aceleradores de partículas: los sincrotrones, unas complejas instalaciones que proporcionan haces de luz muy brillante de casi todo el espectro, desde rayos infrarrojos a rayos X de alta energía. Trinitat Pradell, profesora del Departamento de Física e Ingeniería Nuclear de la Universidad Politécnica de Cataluña, viaja desde hace unos años por el mundo cargada con muestras de materiales antiguos, como los empleados por vidrieros, pintores y ceramistas medievales entre el siglo IX y XIV. “La ventaja de la luz sincrotrón es que es muy intensa, brillante y focalizada, de manera que podemos trabajar con muestras muy

pequeñas y detectar cantidades mínimas de sustancias que no podríamos detectar de otra manera”, explica esta investigadora pionera en la aplicación de la luz sincrotrón al arte, que no pensó al acabar la carrera de física que se dedicaría al estudio de materiales antiguos.

El equipo de Pradell utiliza la luz que emiten los sincrotrones para identificar los compuestos, determinar la estructura íntima de los materiales observados e, incluso, conocer la tecnología empleada. “Empezamos en el año 2000, trabajando en un sincrotrón que hay en Daresbury, Inglaterra, pero ahora acudimos sobre todo al europeo de Grenoble y al nuevo que hay en Inglaterra, el Diamond”, explica. “Nuestro interés —dice Pradell—, ha estado muy centrado en el análisis de



Alumnos de la Universidad Complutense de Madrid haciendo prácticas en el Departamento de Pintura y Restauración.

cerámicas de reflejo metálico islámico. Gracias a la luz sincrotrón hemos podido analizar las diferentes capas, pues es potentísima, trabajar con un haz de 10 micras te permite focalizar cosas que serían imposibles con un haz mayor. Por ejemplo, en pintura medieval gótica, las capas pictóricas, de barniz, acabados, etc., tienen un grosor de hasta unas 100 micras. Por lo tanto, necesitas esa resolución”.

Con estos análisis sobre estos materiales antiguos, “estudiamos sus propiedades, especialmente las ópticas como el color, el brillo. También identificamos sustancias, podemos conocer la tecnología empleada, e incluso saber el artesano o el taller que la fabricó, relacionarlo con otros maestros y establecer enlaces comerciales y culturales. La diferencia más interesante de trabajar con materiales antiguos es que es una búsqueda un poco detectivesca, aunque tienes una cierta idea de lo que puedes encontrar, siempre aparecen sorpresas”.

Pradell se siente muy satisfecha de que los estudios culturales ya tengan su propio espacio y tiempo a la hora de poder trabajar en sincrotrones, cuando hace pocos años tenían que camuflarse bajo el amplio nombre de estudio de materiales. Ahora, su trabajo se dirige al análisis de pintura gótica catalana del siglo XIV, con un objetivo más histórico y buscando un

diálogo intermedio con el que entenderse en equipos tan multidisciplinares: físicos, químicos de materiales, historiadores, restauradores...

Batas blancas

A María Isabel Baéz, actual secretaria del Departamento de Pintura y Restauración de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad Complutense de Madrid, no le gusta hablar de restaurador como concepto de la profesión, sino de conservadores-restauradores. “La conservación va más allá del *reparar* algo; consiste en vigilar que no ocurra una desgracia, que un deterioro no evolucione y de prevenir ese deterioro. Por eso no hablamos de restaurar, que implica la actuación sobre la obra, hablamos de conservar y restaurar y, en el término más extenso, de conservación”.

Esta profesional del mundo del arte habla con pasión de esta profesión, no desde el lado glamuroso de los museos y las grandes instalaciones tecnológicas, sino desde las aulas en las que se forman los futuros restauradores-conservadores que se enfrentarán a obras cada vez más viejas y a materiales y técnicas pictóricas totalmente nuevas. “A los alumnos siempre les digo: no tenéis sólo que mirar una obra, tenéis que involucraros. Cuando vas a intervenir o a diagnosticar, tienes que reconocer la obra, meterte en ella y tienes que seguir re-

conociéndola cada día cuando trabajas, generar un vínculo para ver más allá del propio paisaje pictórico. En ese reconocimiento está la calidad del trabajo”.

Quizás la docencia en estas aulas llenas de alumnos con batas blancas que se mueven entre caballetes, pinceles, botes de pintura, pipetas y microscopios, y donde interrumpen unas estudiantes para saber si el taller de restauración puede ser usado para grabar un corto, sea la parte menos glamurosa del glamurosísimo mundo del arte. Pero de ellas saldrán los futuros artistas y los futuros conservadores que velarán por el bienestar de las obras de los primeros. Bajo los nubarrones económicos actuales, resulta difícil predecir el camino que ambas disciplinas van a tomar en el futuro, pero lo que Báez tiene claro es que “evolucionaremos también según lo haga la obra. Afortunadamente. Porque nosotros tenemos que adaptarnos a ella, no somos los protagonistas, no somos quienes marcan las pautas. ¿Cómo va a evolucionar? Estoy convencida de que la ciencia estará ahí para darnos las soluciones: una vía, un método. Pero dentro de unos años existirá un arte y en función de cómo sea tendremos que ser nosotros quienes nos adaptemos. Estableceremos nuevos criterios, protocolos y estrategias, siempre en función de la obra. Y adónde vaya, iremos nosotros”.



La seguridad informática sufre amenazas cada vez más sofisticadas, que exigen soluciones no menos ingeniosas



Navegando con red

Desde los ordenadores personales hasta los complejos sistemas que controlan el funcionamiento de la maquinaria en instalaciones industriales, el instrumental en los hospitales o las redes bancarias globales, cientos de procesos cotidianos son realizados hoy en día por medio de programas informáticos. En un mundo cada vez más conectado y virtual surge con frecuencia la desconfianza por los posibles problemas de seguridad que lo acechan. El mercado mundial del *software* dedicado a proteger los equipos y sistemas creció un 7'5% en 2011 y los sistemas antivirus cada vez son más eficaces, rápidos y proactivos. Sin embargo, las amenazas cibernéticas evolucionan, se camuflan mejor y están más deslocalizadas, lo que hace casi imposible su detención. Concienciar a los usuarios para evitar prácticas de riesgo y adelantarse a los ataques con sistemas intrínsecamente más seguros son las respuestas de los expertos para navegar y trabajar protegidos por una red.

› Rocío Pérez Benavente,
Periodista científica

Junio de 2010 es una fecha clave en la historia de la seguridad informática y la lucha contra los ciberataques. Ese mes, una pequeña compañía bielorrusa llamada VirusBlokAda se hizo mundialmente conocida, si no para el gran público al menos para todos los expertos y las empresas del sector, cuando publicó el descubrimiento del virus Stuxnet, considerado como la primera arma pensada para el sabotaje y la ciberguerra. El progra-

ma despertó la admiración de los expertos en antivirus cuando se descubrió que aprovechaba cuatro vulnerabilidades de Windows para pasar desapercibido. Las vulnerabilidades son errores de un sistema operativo que pueden utilizarse para atacarlo y resultan tremendamente difíciles de encontrar. Los creadores de Stuxnet no se conformaron con utilizar uno, sino que aprovecharon hasta cuatro de esos errores. Pero lo que hacía a Stuxnet com-



El virus Stuxnet fue el primero dirigido contra un objetivo concreto.

pletamente distinto de otros virus anteriores eran las instrucciones que llevaba escritas en su código: estaba programado para atacar el *software* Siemens-SCADA, un sistema utilizado para programar y manejar el funcionamiento de maquinaria pesada en instalaciones industriales como oleoductos, centrales nucleares o plantas eléctricas.

El primer ordenador infectado por Stuxnet se encontraba en Irán, y una semana después ya se habían recibido informes de casi 40.000 infecciones en decenas de países. Sin embargo, el patrón de distribución de las incidencias no coincidía con ciberataques anteriores: Irán, que nunca había destacado como una víctima importante, se situaba claramente en cabeza en la lista de los más afectados, seguida a mucha distancia por Indonesia y la India. Estados Unidos y los países europeos apenas presentaron unos cientos de casos, una cantidad poco importante en comparación. Los datos parecían indicar por tanto que la liberación del virus había tenido un objetivo muy concreto y diferente al que venían teniendo hasta ahora los ataques informáticos. Los creadores de Stuxnet no querían fama ni lucro, sino que buscaban boicotear la planta de enriquecimiento de uranio situada a las afueras de Natanz, en el centro de Irán, una forma de anular o al menos retrasar el programa nuclear iraní.

El caso de Stuxnet sacudió tanto a la industria del *software* informático como a los responsables de la seguridad de las instalaciones industriales en todo el mundo. Era la primera vez que alguien desarrollaba un *software* que tenía como objetivo el sabotaje industrial. Pero es que además el virus presentaba tal complejidad, sofisticación, eficacia y malignidad que muchos pensaron que sus creadores no sólo tenían profundísimos conocimientos de programación, sino que además contaron con el respaldo de



ISTOCKPHOTO

En el año 2011 se detectaron unos 26 millones de virus informáticos.



Luis Corrons, director técnico de PandaLabs.

PANDA

algún Estado especialmente interesado en boicotear el desarrollo nuclear de Irán.

Si bien el caso Stuxnet es el único ciberataque conocido hasta ahora que tenía como objetivo el sabotaje industrial, lo cierto es que la seguridad informática es hoy un aspecto fundamental dentro de la seguridad general de las empresas e instituciones, especialmente de aquellas que manejan información sensible. Según Luis Corrons, director técnico de PandaLabs de la compañía Panda Security, 2004 es el año clave en la evolución de los ataques informáticos. “Antes de ese año, la motivación

Seguridad cibernética en instalaciones nucleares

La seguridad informática es un aspecto más a tener en cuenta cuando se analiza y evalúa la seguridad física de las instalaciones nucleares. Así lo entiende el CSN y Pedro Lardiez, jefe del Área de Seguridad Física del Consejo. “En el diseño de la protección de una central se consideran tanto ataques físicos encaminados a actos de sabotaje, emisión de radiación al exterior o robo de material nuclear como cualquier

otra amenaza que pudiese contribuir a llevar a cabo esos objetivos, entre ellas los ataques a los sistemas informáticos”.



Pedro Lardiez, jefe del Área de Seguridad Física del CSN.

de los creadores de virus era conseguir fama. Eso hacía que las epidemias fuesen masivas, y con la expansión de Internet, la propagación cada vez era más rápida”. Programas malignos, llamados gusanos, como I Love You o Sircam se distribuyeron mun-

dialmente en cuestión de días aprovechando la conectividad de los sistemas para llegar a millones de usuarios.

Desde 2004, sin embargo, la producción de *software* maligno, o *malware*, se ha convertido en una actividad lucrativa, en un gran negocio que busca mantenerse oculto. Los ciberdelincuentes se han dado cuenta del jugoso beneficio que podría suponer hacerse con información privada como tarjetas de crédito y contraseñas. Corrons considera que la amenaza se ha multiplicado en todo el mundo, solo que ahora intenta pasar desapercibida: “A pe-

Según análisis preliminares realizados por el Consejo, es muy improbable que un ataque, exclusivamente informático, produjese un efecto más allá que una parada no programada de la actividad industrial de una planta nuclear, algo que tendría consecuencias económicas para el titular, pero no de seguridad. Sin embargo, sí sería preocupante que un posible atacante utilizase un ataque informático como precursor de un ataque de fuerza.

La protección informática de las instalaciones nucleares empieza en la misma configuración de los sistemas que las hacen funcionar, aislados del exterior y sin conexiones a Internet, aunque los grados de aislamiento no son siempre los mismos. Los sistemas más básicos, de control del reactor, por ejemplo, son los que presentan mayor aislamiento y de hecho no están

sar de que las infecciones siguen afectando a miles de sistemas, ahora son menos visibles. Los nuevos ejemplares se programan para que se mantengan ocultos. ¿Por qué? Porque la motivación de sus autores ha cambiado: ya no quieren fama, ahora quieren dinero”.

La participación prácticamente mundial en una red global sin fronteras, caracterizada por la conectividad permanente y la compartición de datos en tiempo real no ha hecho sino multiplicar las oportunidades de acción para los ciberdelincuentes. Carlos Jiménez es el presidente de la empresa española Secuware, especializada en seguridad informática, y en su opinión, Internet ha hecho “inabordable” el problema: “Hoy en día cualquier ordenador está conectado a Internet, es decir, puede ser atacado desde cualquier lugar del mundo”. El *Informe anual 2011* que elabora PandaLabs corrobora este punto. Según este documento, el año pasado se crearon unos 26 millones de virus informáticos, lo que supone de media unos 73.000 virus diarios más que durante el año 2010. Dentro de esos 26 millones de ejemplares de *malware*, casi tres de cada cuatro eran troyanos, un tipo de virus



Carlos Jiménez, presidente de la empresa española Secuware.

basados en componentes digitales sino físicos, lo que obligaría a un atacante a acceder a ellos físicamente y destruirlos. Existe otro grupo de sistemas, llamados de control, que originalmente eran analógicos pero que cada vez más se controlan de forma digital, de manera que los datos que recojan estén disponibles en varios puntos de la central e incluso en las oficinas del titular. Esos sistemas son más vulnerables, pero siguen estando muy protegidos, ya que están sostenidos por redes de comunicaciones no públicas, para las que hace falta tener un acceso físico específico, y por redes virtuales privadas.

Tras evaluar la seguridad informática de las centrales nucleares, el CSN estima que su vulnerabilidad es media-baja, consideran-

do conceptualmente distintos tipos de sistemas. En este sentido, el Consejo va a poner en marcha este año un programa de seguridad cibernética en el que publicará regulaciones basándose en los análisis de los sistemas presentes en cada instalación. Lardiez explica: “Pediremos unos análisis de riesgos y, una vez conocida la vulnerabilidad, los titulares tendrán que presentar un plan de seguridad informática, no solo con medidas como el control de acceso y la identificación de intrusos, sino que deberán incluir elementos de gestión de seguridad, como la formación de los trabajadores que operan esos sistemas. El objetivo es que ese plan de seguridad cibernética sea integrado dentro de la seguridad física de las centrales nucleares”.



CN COFRENTES

Sala de control de la central nuclear de Cofrentes.

que se mueve con facilidad en el plano web: son controlados a través de paneles de control on line y trabajan intentando descargar ficheros, componentes, actualizaciones, etc., también desde páginas web comprometidas o puestas en marcha como infraestructura para el troyano.

En el caso de los sistemas informáticos de empresas e instituciones públicas, al posible uso de *malware* para el robo de datos o el boicot de su actividad empresarial o institucional, se suman los ataques a la imagen pública. Normalmente se trata de ataques a su página web, ya sea modificando su contenido o impidiendo el acceso, consiguiendo lo que se llama una denegación de servicio por saturación. Sergio de los Santos, de Hispasec Sistemas, cree que es muy difícil luchar contra esos ataques. “Se han puesto muy de

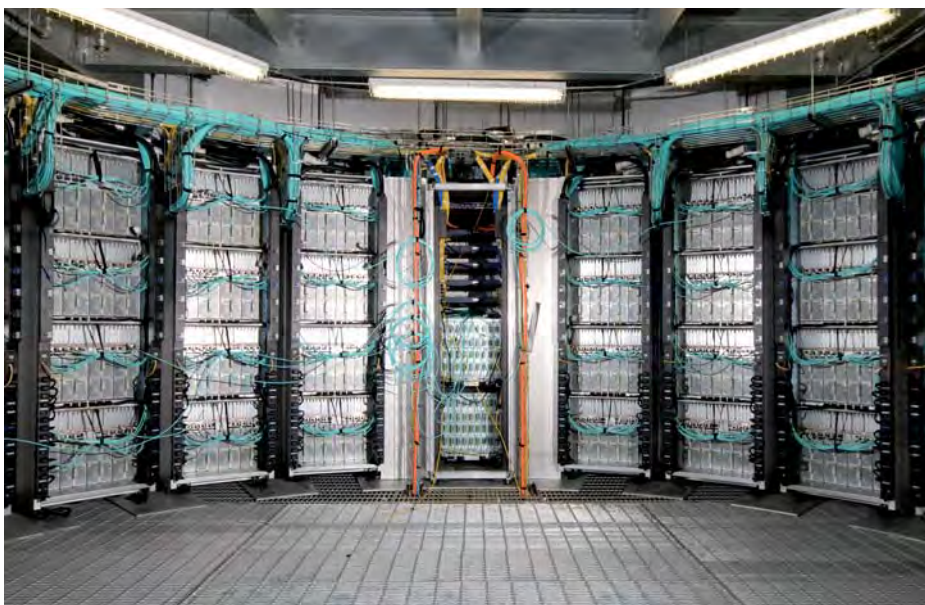
moda como reivindicación”, dice. “Gracias a la generalización de los conocimientos informáticos básicos y su distribución a través de la red, hay mucha gente con capacidades para entrar en cualquier página web si tiene la motivación suficiente”. La organización Anonymous, por ejemplo, ha utilizado este sistema en repetidas ocasiones como parte de su acción de protesta.

Claves para la seguridad

¿Qué se puede hacer, por tanto, para proteger los sistemas informáticos, sobre todo aquellos que son cruciales para el funcionamiento de una industria? Jiménez da tres claves fundamentales: “los sistemas serán más seguros cuando sean más simples, más infrecuentes y menos conectados, exactamente lo contrario a

la evolución de los sistemas informáticos en los últimos 30 años”. La mejor estrategia, por tanto, sería la desconexión de Internet. En esta dirección, Jiménez apunta como un gran avance el aumento en el uso del *software* de la empresa Apple: “Un iPad es una buena solución para consultar Internet limitando la conectividad, son más seguros que los dispositivos de Android y, al ser más simples que los PC de Windows, también son más fáciles de proteger”. Añade también la ventaja de Apple al haber tenido en cuenta la seguridad del sistema desde el momento de diseñarlo.

Y es que la anticipación es otro factor decisivo. Los expertos critican la costumbre de esperar a que los ataques se detecten para actuar: se asume que los ataques serán detectados y frenados a



ISTOCKPHOTO

Es importante tener en cuenta la seguridad al diseñar sistemas informáticos.

tiempo, antes de que produzcan daños o los atacantes consigan hacerse con información protegida. Sin embargo, eso no siempre ocurre, ya que un ataque bien hecho es casi imposible de detectar, y además existen errores en los sistemas que pueden pasar desapercibidos durante meses —Windows corrige cada mes entre cuatro y 20 errores de código— y que pueden ser utilizados por los ciberdelincuentes para atacar. Por lo tanto, es importante tener presente la cuestión de la seguridad informática a la hora de diseñar los sistemas, de forma que estos sean intrínsecamente seguros. La necesidad de rapidez en la oferta de *software* y la exigencia a los distribuidores de que mejoren continuamente sus productos, unido a la globalización de la conectividad ya mencionada, dificultan este objetivo: un sistema seguro se construye más lentamente que uno inseguro. La exigencia de rapidez en el suministro de *software* juega en contra de la seguridad.

Donde también hay trabajo por hacer es en el área de la legislación al respecto. La preocupación social por la protección de la intimidad y el acceso a datos confidenciales está impulsando a los gobiernos a realizar grandes avances en esta

dirección. En el caso concreto de España, la Agencia de Protección de Datos se encarga, entre otras cosas, de regular contra la práctica del correo publicitario no deseado, o SPAM, que puede suponer una violación del derecho a la confidencialidad de los datos personales. Sin embargo, en un escenario de conexión sin fronteras en el que el ataque contra un sistema se puede realizar desde cualquier parte del globo, la cuestión de la normativa gubernamental puede quedar relegada a un segundo plano. Jiménez no es muy optimista: “Los legisladores están muy preocupados por la intimidad y la privacidad, y cada vez imponen más medidas para el control de la información. Eso es bueno, pero los malos solo tienen que atacar desde países sin legislación y ya no tienen ese problema”.

El papel del usuario

Sin embargo, los expertos coinciden en que la principal amenaza para la seguridad de los sistemas informáticos es el mal uso que de ellos hacen los propios usuarios. Y es que de nada sirve tener el sistema más seguro y protegido posible contra distintos tipos de ataques informáticos si el usuario mismo les abre la puerta y

les invita amablemente a entrar y acomodarse. Un ejemplo de estas malas prácticas desde el nivel más alto de responsabilidad de una institución es el uso de programas para instalaciones no indicadas. “El contrato de licencia de Windows, por poner un ejemplo, dice que no debe emplearse en instalaciones de las que dependa la vida de personas, y cita expresamente hospitales y centrales nucleares. Sin embargo, es común que esos contratos no se lean y se terminen utilizando los mismos programas en todos los sitios”, critica Jiménez.

Otra práctica de riesgo es el manejo de información sensible en ordenadores protegidos: algo tan cotidiano y en apariencia inofensivo como llevarse trabajo a casa puede ser peligroso. La información pasa de estar en un sistema protegido contra el robo de datos por *software* específico a introducirse en un ordenador personal, en principio mucho más vulnerable. Operaciones inversas, tales como la consulta de una cuenta de correo personal en el trabajo o el acceso a Internet en sistemas que contienen información sensible, también pueden resultar en un ataque o infección por *malware*. Por lo tanto, es importante concienciar a todos los usuarios de un sistema, desde sus máximos responsables que han trabajado para configurarlo hasta el más ocasional de sus usuarios, de que la seguridad del sistema no es algo estático y exterior al mismo, sino que su mal uso, a veces con actividades tan corrientes como consultar el correo o la extracción de datos para trabajar desde un ordenador ajeno al sistema, acarrea una gran vulnerabilidad.

Tanto esa concienciación de los usuarios como el trabajo de las empresas del sector de la seguridad informática son procesos complementarios para avanzar hacia un entorno más protegido dentro de la red, una tecnología que ya es imprescindible para el normal funcionamiento de miles de sistemas en todo el mundo. ©

REPORTAJE



CERN

› Manuel Toharia,
Director Científico
de la Ciudad de las
Artes y las Ciencias

El LHC, a punto de encontrar la esquiva partícula propuesta hace casi medio siglo

Bosón de Higgs: por fin sabremos qué es la materia

La hora de la verdad parece estar a punto de sonar: los experimentos del LHC en Ginebra llevan detectando, desde finales de 2011, señales que estadísticamente podrían ser compatibles, por el rango de energía en el que aparecen, con el famoso bosón de Higgs. Una partícula predicha por la teoría desde hace más de medio siglo, y que ha servido para seguir profundizando en el llamado modelo estándar, a pesar de no haber sido nunca detectada. La confirmación de su existencia validaría la tesis según la cual la masa se debe a un determinado campo, expresado por dicho bosón. Un campo extraño, no vectorial (los matemáticos dicen “escalar”) porque no genera fuerzas, y un bosón igualmente extraño, con *spin* cero (la única partícula elemental sin *spin*).

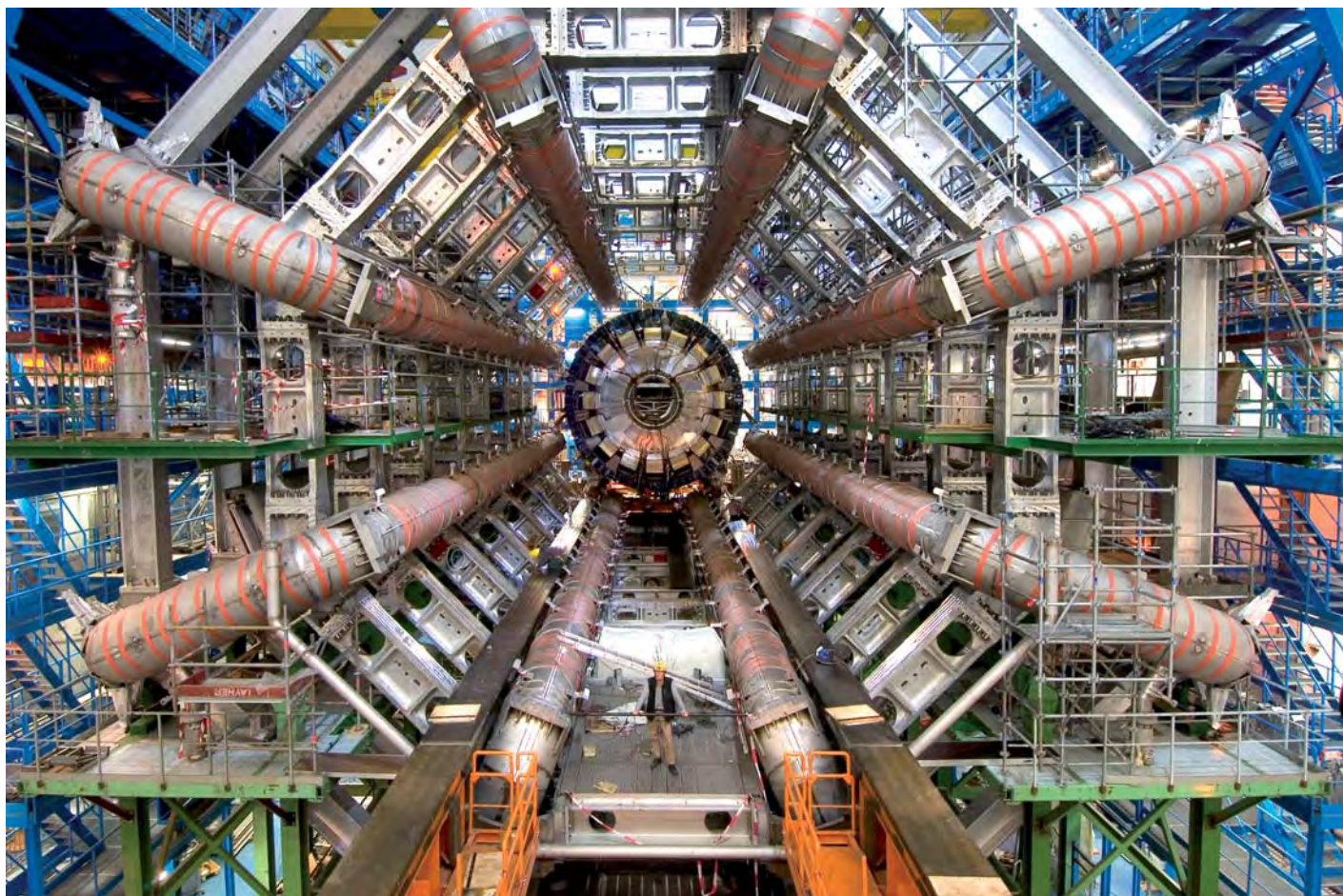
Se le espera desde hace muchos decenios. Y por fin parece que está a punto de llegar. El anuncio del descubrimiento del bosón de Higgs en el LHC, que casi todo el mundo supone que se producirá el próximo otoño, no solo va a ser el notición científico del momento sino que, sobre todo, demostrará que, en cierto modo, la materia tiene sentido. Por fin comprenderemos a qué se deben la atracción gravitatoria y algunos principios físicos que experimentamos a diario, como el de la inercia. Todo ello ligado a un concepto que se enseña en las clases de Física, la masa, y que parece indisolublemente unido a la materia, es decir, a sus componentes fundamentales, los átomos.

Claro que a lo largo de los últimos dos siglos hemos ido desentrañando el misterio de los átomos, y hoy sabemos que existen solo cuatro partículas elementales —dos quarks y dos leptones, entre estos últimos el ubicuo electrón— ligadas por cuatro fuerzas universales —gravitación y electromagnetismo, y fuerzas nucleares débil y fuerte—. Estas fuerzas, a

su vez, interaccionan con las partículas —tanto las elementales como las complejas— a través de otras mediadoras o intermediarias, los bosones. En el caso del electromagnetismo, si una bombilla emite luz y esa luz llega a nuestros ojos es porque la fuerza electromagnética viaja desde la bombilla a los ojos mediante esos bosones mediadores, en este caso los fotones. El fotón es el bosón de la fuerza electromagnética...

En cuanto a la masa de algunas partículas —los quarks y los leptones tienen masa, aunque los neutrinos cuando viajan a la velocidad de la luz no la tienen, pero sí podrían tenerla “en reposo”—, lo cierto es que no se sabe a qué se debe. A mediados del siglo XX ninguna teoría ofrecía una explicación aceptablemente coherente de lo que otorgaba a las partículas materiales (y por tanto a los objetos más grandes, compuestos por millones y millones de esas partículas) eso que llamamos masa y que produce, por ejemplo, efectos gravitatorios o inerciales. Otras partículas, en cambio, no tienen masa; los fotones, sin ir más lejos.

Al cierre de esta edición el CERN anunció el hallazgo de una nueva partícula que con altísima probabilidad será el bosón de Higgs. En los próximos meses se comprobará si sus características concuerdan con dicho bosón.



Detector *Atlas*, del acelerador de partículas LHC, con el que se intenta capturar al bosón de Higgs.

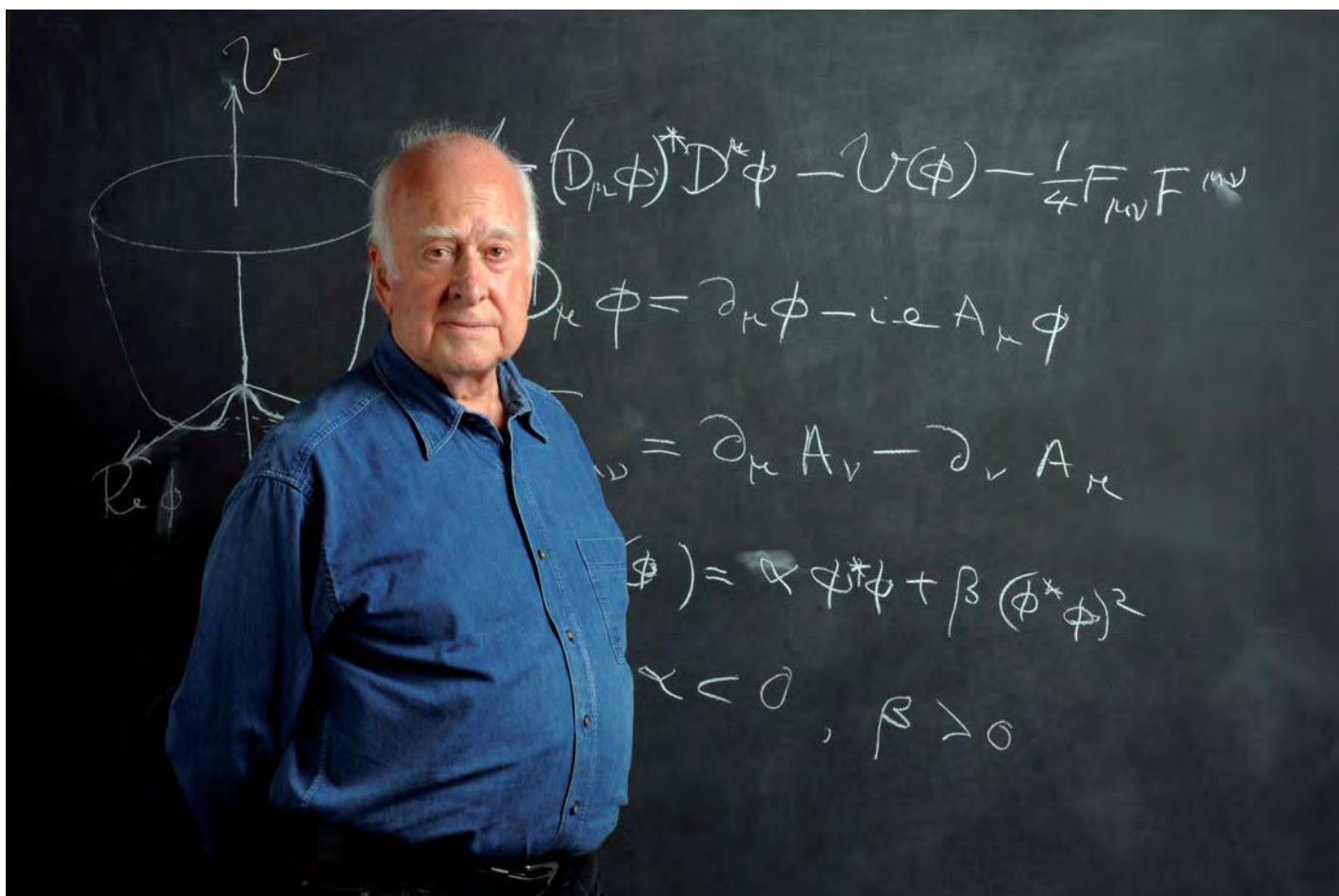
El caso es que, por analogía, parece lógico que hubiera diversos científicos que postularan, en los inicios de los años sesenta, la idea de que inicialmente, justo después del Big Bang, quizá las partículas no tuvieran masa, pero que unas fracciones infinitesimales de tiempo después algunas de ellas la adquirieron al interactuar con un misterioso campo que afectaría a todo el Universo —como el electromagnético o el gravitatorio— y que por tanto le otorgaría esa propiedad a la mayoría de las partículas.

En particular, el físico británico Peter Higgs llevaba ya tiempo interesándose por el problema de la masa de los objetos materiales, desde su puesto de investigador de la Universidad de Edimburgo. Siendo catedrático de Física Teórica en la ciudad escocesa, en 1964 publicó un artículo en la revista *Physics Letters* del CERN

en el que postulaba la existencia de ese campo que le confería masa a las partículas elementales —quarks y leptones—, componentes esenciales de la materia, y a muchas otras partículas compuestas con masas superiores (hadrones). Un segundo artículo unos meses después ampliaba el tema incluyendo ya un modelo matemático, hoy conocido como “mecanismo de Higgs”; lo curioso es que fue rechazado por la publicación, “por carecer de interés para la física”. Higgs no se amilanó y al año siguiente consiguió que fuera publicado por la revista americana de referencia, *Physical Review Letters*. Esta pequeña odisea quizá explique por qué todo este asunto lleve el nombre de Higgs y no el de otros colegas que aportaron tanto o más que él al nuevo modelo teórico. E ilustra meridianamente la dificultad de los físicos de hace más de medio si-

glo por imponer ideas teóricas consideradas por los demás casi esotéricas, en un mundo regido por el desarrollo de la física experimental en torno a la energía nuclear y su potencial bélico y civil (era la época de la Guerra Fría).

Higgs no estaba solo. Como suele ocurrir en ciencia, otros científicos habían llegado en esa misma época, poco antes o poco después, y todos ellos de manera independiente —aún no existía Internet, que sería *inventado*, en su versión actual, precisamente en el CERN por los físicos, con el británico Tim Berners-Lee a la cabeza, en 1990—, a conclusiones parecidas: los belgas Brout y Englert, el americano Anderson, el escocés Tom Kibble y otros. De hecho, el mecanismo de Higgs suele ser conocido por los expertos de muchas más formas: mecanismo de Higgs–Brout–Englert–Guralnik–



Peter Higgs

Peter Higgs nació en Newcastle, al norte de Inglaterra, en 1929. Por culpa de su asma infantil y luego de la Segunda Guerra Mundial no tuvo una escolaridad infantil normal, pero gracias a su padre, ingeniero de sonido de la BBC, recibió una sólida formación, especialmente en matemáticas. A los 17 años inició sus estudios de matemáticas y física en Londres, y allí se graduó, y luego se doctoró, en Ciencias Físicas. Consiguió una plaza de investigador

en la Universidad de Edimburgo, y poco después obtuvo la de profesor de matemáticas en el University College de Londres. De ahí retornó a Edimburgo, esta vez como catedrático de Física Teórica, ya en 1960. Fue allí donde se interesó por lo que luego sería el campo y bosón de Higgs. Actualmente es profesor emérito de la Universidad de Edimburgo, donde vive jubilado desde 1996. En plan anecdótico cabe consignar su malestar porque su bosón sea conocido como “partícula de Dios”, por un libro de divulgación escrito por León Lederman (Nobel de Física en 1988).

Hagen-Kibble, mecanismo de Brout-Englert-Higgs, incluso solo de Anderson-Higgs. Los descubrimientos científicos modernos suelen tener muchos padres, sin duda... Hoy todos ellos habrían firmado en común el mismo trabajo, intercambiando ideas y datos a través de la web, que fue el regalo del CERN a la humanidad hace veinte años.

Por añadidura, todos esos trabajos se inspiraban en las teorías del japonés

nacionalizado norteamericano Yoichiro Nambu, que luego sería uno de los padres de la teoría de cuerdas y acabó recibiendo el Nobel de Física en 2008. Nambu trabajaba en aquellos años sesenta en la Universidad de Chicago y ya era conocido por haber propuesto una teoría conocida como de ruptura espontánea de simetría, que se puede aplicar a las fuerzas fundamentales del Universo (él la aplicó a la fuerza electrodé-

bil, unión del electromagnetismo y la nuclear débil).

El concepto de simetría en física cuántica no es sencillo de comprender sin el correspondiente aparato matemático. Puede recurrirse al símil del lápiz que se mantiene un instante sobre la punta muy afilada encima de una mesa. En ese momento es simétrico respecto a la mesa, es decir, puede caer en cualquier dirección. Pero al caer en una de esas direcciones al

El modelo estándar y la supersimetría

El famoso modelo estándar lleva varios decenios rindiendo servicios inapreciables no solo a la Física como ciencia fundamental sino a muy diversas tecnologías basadas en ella. El modelo estándar funciona, no obstante, en dos mundos muy diferentes, cuyas leyes parecen divergir. En primer lugar, el mundo “grande”, el de la cosmología, el de la vida humana; incluido el mundo microscópico que tiene que ver con las enfermedades, los microbios, las vacunas, las células, la genética... Ese mundo se rige por leyes de la mecánica relativista, ampliación de la mecánica clásica que estableciera Newton.

Por otra parte está el mundo ultrapequeño, el de las partículas elementales, de tamaños submicroscópicos. Está gobernado por las leyes de la mecánica cuántica, que en algunos de sus preceptos resultaría absurda si la aplicáramos al mundo grande.

Lo cierto es que el modelo estándar solo cubre con enorme precisión al mundo grande. No siempre describe bien el mundo ultrapequeño, e incluso presenta graves lagunas, por ejemplo, si se pre-

tende comprender este micromundo con las leyes del macromundo. Los físicos deben, pues, inventarse un nuevo margo legal, una especie de física superior, que incluyera leyes comunes a ambos mundos. Por una sencilla razón, de lo más lógico: los componentes de todos los objetos y fenómenos del macromundo están hechos de partículas y fenómenos del micromundo. Micromegas y Macromegas, diría Voltaire... Ambos son en el fondo la misma cosa.

Pero eso requiere aparatos teóricos diferentes al modelo estándar. Uno de los que más probabilidades tiene de funcionar experimentalmente es la supersimetría, sobre todo si en el LHC aparecen no solo el bosón de Higgs, sino también alguna de las partículas supersimétricas más ligeras, como el neutralino. Los teóricos tienen ya su propia *cuadra* de partículas supersimétricas.

El modelo estándar tiene dos quarks (*up* y *down*, arriba y abajo) y dos leptones (electrón y neutrino electrónico). Toda la materia conocida está compuesta por estas cuatro partículas. Y se relacionan mediante las cuatro fuerzas fundamentales ya citadas en el artículo, a las que habría que añadir el campo de Higgs (no es una fuerza, su bosón es, pues, escalar, no vectorial) que le otorga masa

azar, la simetría se rompe... aunque no por eso deja de estar implícita en el sistema lápiz-mesa. Pues bien, en el mundo cuántico las leyes describen lo que puede ocurrir en el espacio; luego, en el mundo real gobernado por esas leyes, se da una sola de las infinitas posibilidades que existen, al romperse la simetría. La libertad infinita de posibilidades (simetría) se rompe al verificar la experiencia en el mundo real.

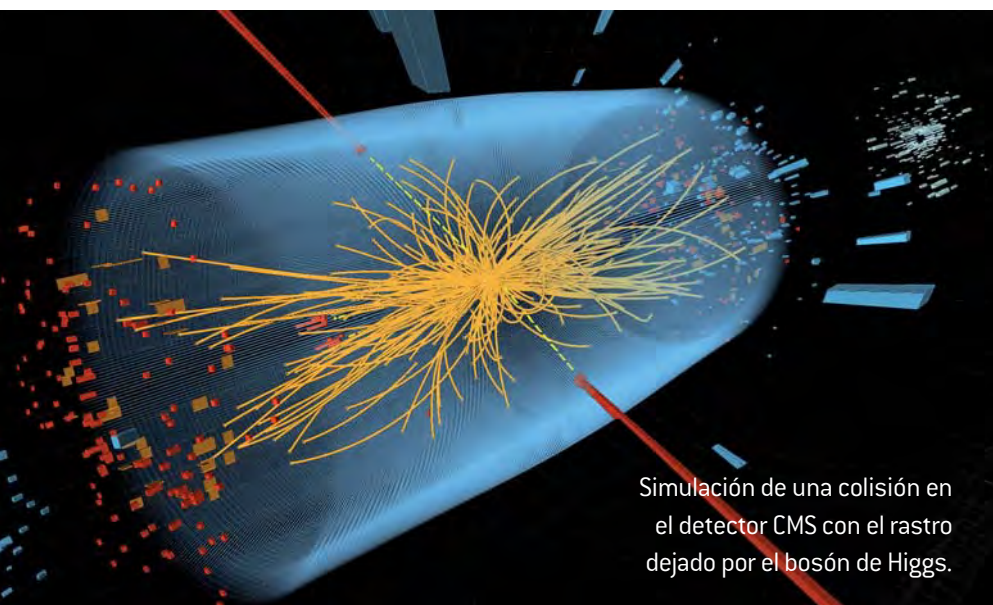
Si nos referimos a las cuatro fuerzas fundamentales ya citadas, todas ellas tendrían en teoría alcance infinito; pero al romperse la simetría, dos de ellas, las nucleares fuerte y débil, quedan confinadas al núcleo de los átomos. Las otras dos, en cambio, tienen alcance infinito, aunque la gravitatoria es muchísimo menos intensa que la electromagnética. De hecho, uno de los grandes misterios —aún son muchos— que quedan por resolver es el por qué de la fuerza relativa entre las cuatro fuerzas. La gravitación, omnipresente en el Cosmos a macroescala, es minúscula comparada con las

demás. Si le asignamos una intensidad arbitraria de 1, la fuerza nuclear débil será 10^{25} veces más intensa, la electromagnética 10^{36} veces más, y la nuclear fuerte 10^{38} veces más. Esto quiere decir que la fuerza que une a los quarks dentro del núcleo para formar protones y neutrones es 100 veces más intensa que la atracción o repulsión entre esas partículas eléctricamente cargadas positiva o negativamente. Pero es que la fuerza que une a los electrones (eléctricamente negativos) al núcleo (eléctricamente positivo) de los átomos es 10^{36} veces mayor que la fuerza gravitatoria que atrae a sus masas, ¡un uno seguido de 36 ceros! Eso explica por qué en la física de partículas la gravitación parece una fuerza inexistente... aunque existe.

En todo caso, con aquellos avances teóricos conseguidos a lo largo de buena parte del siglo XX pudieron cerrarse con un éxito difícil de discutir nuevas teorías acerca de las fuerzas y las partículas, como por ejemplo la cromodinámica cuántica, explicada en los

años setenta y que muestra la relación entre los quarks y la fuerza fuerte que les une, a través de un bosón llamado gluón. Pero, sobre todo, se pudo ir cerrando una especie de modelo global de partículas y fuerzas que es lo que hoy se conoce de forma generalizada como modelo estándar.

En particular, la ruptura espontánea de la simetría electrodébil conduce al hecho de que algunas fuerzas fundamentales (por ejemplo, la unión de la electromagnética y la débil) tengan bosones intermediarios que sí tienen masa. Y eso es lo que en su momento aplicaron por una parte los belgas Brout y Englert, y más o menos a la vez, sin tener contacto con ellos, el propio Higgs. Ahí es donde nace lo que hoy llamamos teoría del campo de Higgs, con un bosón de *spin* entero (como todos los bosones) pero que además sería nulo, lo que es excepcional. Ese nuevo campo es el que conferiría masa a las partículas e incluso a algunos de los bosones, como el mismo bosón de Higgs...



Simulación de una colisión en el detector CMS con el rastro dejado por el bosón de Higgs.

a las partículas. En niveles energéticos muy superiores (muy poco después del Big Bang) aparecen otras dos familias compuestas por dos quarks y dos leptones: quarks *charm* y *strange*—encan-

lino, la más ligera (y probablemente miembro de la familia de las WIMP). Sería la primera confirmación real de todo este edificio teórico... si es que aparece.

Así que la importancia de este bosón y, sobre todo, la demostración experimental de su existencia, resultan trascendentes para la ciencia porque en cierto modo es el último ladrillo que falta para confirmar que todos estos trabajos teóricos—muy fecundos por haber conseguido contribuir al edificio hoy bien establecido del modelo estándar—tienen sentido.

Pero lo interesante es que, en caso de no aparecer Higgs en los rangos de energía en los que se le espera, eso también supondría un reto aún mayor para la física, porque entre tanto han ido apareciendo nuevas teorías que intentan cubrir los huecos que el modelo estándar no consigue llenar. En particular, el mundo de la supersimetría y sus correspondientes partículas. De hecho, muchos físicos esperan del LHC no solo que descubra el Higgs, lo que parece que va a ocurrir de modo oficial a finales de 2012, sino incluso alguna partícula ligera, de las llamadas WIMP (abreviación de *Weakly Interactive Massive*

Particles, partículas masivas de interacción débil), entre las cuales podría estar la más ligera de las superpartículas, llamada neutralino. Si aparece dicho neutralino, que no tiene equivalente en el modelo estándar como sí la tienen las demás superpartículas, sería un bombazo científico quizá superior al del descubrimiento del Higgs. Porque confirmaría una teoría enormemente elegante y bastante coherente, pero todavía puramente ideal, sin demostración experimental que la confirme ni siquiera indirectamente. Y es que la supersimetría explica las disparidades entre la cuántica y la relatividad.

De hecho, la nueva física, que va más allá del modelo estándar y sus leyes, demuestra lo errado de ciertos enfoques muy anteriores, aunque vigentes todavía en pleno siglo XX, sobre todo al principio, según los cuales las leyes de la naturaleza determinan de forma clara y absoluta el comportamiento y las propiedades de las partículas constituyentes de la materia. Incluso la mecánica

cuántica flirteaba con dicho paradigma mediante el recurso a las leyes de la estadística (durante mucho tiempo esa rama de la Física se llamó mecánica estadística). Pero hoy eso ya no basta. Por ejemplo, las teorías con ruptura espontánea de la simetría introducen elementos nuevos; el determinismo tan querido por los científicos se ve “contaminado” parcialmente por el entorno de la partícula e incluso su historia en el devenir del tiempo. La simetría se puede romper al azar en función de condiciones variables tales como la densidad y la temperatura; o sea que lo que una partícula es capaz de hacer, es decir, sus propiedades características, ya no depende solo de las ecuaciones que la teoría prevé sino que también dependen en parte (y no se sabe si mucho o poco) de cuáles de esas soluciones son aplicables a nuestro entorno, en particular, y al Universo, en general.

En supersimetría existen prácticamente las mismas partículas, pero con propiedades mucho más complejas. Como son supersimétricas, se les suele poner una S delante (selectrón, squark,...). Lo mismo para los bosones: del bosón del Higgs sale el higgsino, del fotón el fotino, del gluón el gluino, y así sucesivamente. Pero pueden existir otras partículas elementales, como el neutra-

lino, la más ligera (y probablemente miembro de la familia de las WIMP). Sería la primera confirmación real de todo este edificio teórico... si es que aparece.

Regresemos al mundo real, tras esta modesta incursión en los misterios de la Física Teórica más actual.

El caso es que los trabajos de Yoichi-ro Nambu fueron completados por otro físico norteamericano, Goldstone, que predijo que la ruptura de simetría daría lugar a bosones sin masa, conocidos como bosones de Nambu-Goldstone. Pero Higgs —también los demás científicos que coincidieron con sus ideas en los años sesenta—, al establecer el mecanismo que lleva su nombre, postuló la existencia para la masa de un bosón que conferiría esa misma propiedad —la masa— a algunos de los bosones más significativos (los de la fuerza electrodébil, y los quarks y leptones, como hemos visto). En cambio, el bosón del electromagnetismo, que llamamos fotón, no tiene masa. El Higgs también le otorga masa, por supuesto, a quarks y leptones; y, por tanto, a todos los hadrones.

En el vacío, el campo de Higgs debe tener un valor constante en el tiempo y en el espacio, que es de 246 GeV (gigaelectrónvoltio, mil millones de electrónvoltios, que es la energía que adquiere un electrón al ser sometido a una diferencia de potencial de un voltio). Como masa y energía son la misma cosa —recuérdese la famosa ecuación einsteniana $E = M c^2$, donde c es la velocidad de la luz—, se suelen medir en esta unidad (muy pequeña, suelen usarse múltiplos) tanto masas como energías. Lo curioso del bosón de Higgs, que expresa el campo de Higgs lo mismo que el fotón expresa el campo electromagnético, es que tiene masa pero es su propia antipartícula. De hecho, es la única partícula del modelo estándar que queda por identificar experimentalmente, aunque dicho modelo no predice cuál debería ser su masa. Exige, eso sí, para que sea viable, que esa masa esté entre 115 GeV (un valor límite demostrado en experimentos realizados en el CERN con el acelerador LEP, antecesor del LHC) y 180 GeV (límite impuesto por la mayoría de las ecuaciones teóricas aplicables). Luego ese límite máximo fue re-



Centro de Computación del CERN, con 12.000 servidores, 16.000 CPU y 64.000 discos duros.

duciéndose a 155 (gracias al Tevatron del Fermilab, en Chicago, cinco veces menos potente que el LHC) y posteriormente a 140 con los primeros resultados del LHC. Pero si en el futuro el modelo estándar, como muchos físicos creen, se queda *corto* (porque no explica muchas cosas que han ido apareciendo posteriormente) entonces es posible que en el mundo de las partículas supersimétricas, que podría reemplazarlo, el Higgs sea diferente.

Pero aún estamos lejos de eso. Ni siquiera estamos seguros de que exista el famoso bosón de Higgs. Si no existiese, los físicos no se frustrarían nada. Es más, son muchos los que casi desean que no se le encuentre en el rango en torno a los 120-130 GeV, que es donde parecía más probable que estuviera. ¿Por qué ese interés en algo que podría considerarse el fracaso de una teoría que existe desde hace medio siglo? Ya lo hemos visto antes, en parte: se abrirían nuevas vías para buscar respuestas a uno de los misterios más intrigantes del cosmos desde el mismísimo Big Bang, como es la existencia de partículas con masa o sin masa y la pro-

pia esencia misma de esa masa, que le confiere a la materia que conocemos las propiedades que nos son familiares (peso e inercia, características obvias en el mundo cotidiano).

Pero no hay que alarmarse; es altamente probable que el Higgs exista y se encuentre en los límites energéticos en los que se le esperaba. De hecho, los resultados hechos públicos con muchísima cautela en diciembre de 2011 apuntan a una masa cuyos límites ya no estarían entre 115 y 140 GeV sino que el cerco se ha estrechado mucho: entre 116 y 130, con una alta probabilidad de estar en torno a 124-126 GeV. De hecho al comenzar el año 2012 el valor más probable para el detector *Atlas*, uno de los cuatro del LHC, era con un 99,7% de probabilidad 126 GeV, lo que es ya prácticamente una evidencia pero no todavía una demostración (para eso hace falta una probabilidad cercana a 99,99%). Otro de los detectores, CMS, ha obtenido una probabilidad similar en torno a 124 GeV. O sea que aún quedan muchos experimentos en 2012 para, por fin, conseguir afirmar que se ha demostrado la existencia del Higgs en un



Parte del túnel de 27 kilómetros por el que circula el LHC.

valor que sin duda estará entre esos dos números: 124-126.

Pero con eso no está dicho todo. Una vez identificado, habrá que estudiar sus características. Podría corresponder a la teoría emitida hace ya varios decenios, y todo estará bien; incluso es seguro el Nobel para Higgs y alguno más. Pero a lo mejor es un bosón exótico, o sea que no se parece a lo que se había predicho. Y entonces habría que revisar toda la teoría de la masa; y volveríamos en cierto modo al punto de partida, o sea, a los años sesenta (al menos, en este campo de la investigación). Ese posible bosón raro, que algunos denominan “alienígena” por lo improbable de su existencia, encerraría de todos modos muchos secretos que habría que ir poco a poco desvelando. Tampoco es una mala situación. Como suelen decir los físicos que trabajan en el CERN, es una situación típicamente *win-win*, lo que en teoría de juegos se denomina “ganar o ganar”, típico de situaciones en las que, ocurra lo que ocurra, siempre se sale ganando.

¿Que aparece el Higgs? Perfecto, por fin sabremos por qué tiene masa la ma-

teria y confirmamos de manera rotunda el modelo estándar. ¿Que no aparece? Perfecto, porque podremos volver a empezar, ideando nuevas teorías y diseñando nuevos experimentos. ¿Y si aparece un bosón extraño? Pues muy bien, estudiémoslo a ver qué significa, de dónde sale, cómo se integra en lo que ya sabemos; y, entre tanto, sigamos buscando el Higgs o lo que sea en alguna otra parte, porque el tema de la masa seguirá sin ser resuelto...

Por otra parte, si se confirma que el Higgs está donde parece casi seguro que está, entre los indicados 124 y 126 GeV de energía, eso significa que es bastante ligero; dentro de un orden, claro... Y esa ligereza es compatible con las teorías que van más allá del modelo estándar. Por ejemplo, la supersimetría antes citada, que predice un Higgs ligero... pero que también predice otros cuatro más, con bastante más masa. Para eso se necesitan rangos experimentales de energía muy superiores a los que proporcionará el LHC, o bien nuevos sistemas de medida más precisos aún que los cuatro detectores de este acelerador.

Los físicos sueñan, si la crisis económica lo permite, con disponer hacia el año 2020 de un nuevo acelerador, que no se parecerá al LHC porque no será circular. Es obvio que en el CERN antes de tener una herramienta aún más potente tendrán que pasar al menos un par de decenios; el LHC todavía tardará muchos años en alcanzar sus límites tanto teóricos como técnicos. Su sucesor será, pues, casi con seguridad, norteamericano. Porque el Fermilab de Chicago aún no ha dicho su última palabra. En estos momentos existe ya, al menos en fase de proyecto, un nuevo acelerador, el ILC (*International Linear Collider*); su potencia máxima no sería superior a la del LHC, pero como en lugar de hacer chocar protones con protones lo que hará es colisionar electrones y positrones, eso le proporcionará una muy superior precisión de los resultados obtenidos.

Pero, ¿y si aparece el Higgs a finales de este año? ¿Para qué tanta inversión? Lo cierto es que el Higgs se ha hecho popular más por razones extracientíficas —lo de la partícula de Dios ha hecho fortuna, incluso hay películas con ese título— que por la real trascendencia de su descubrimiento. De hecho, determinar su existencia en los límites de energía previstos por la teoría es un éxito teórico, pero de ningún modo resuelve los problemas que plantea la nueva física. No sólo la unificación de la cuántica y la relatividad, que sigue pendiente, sino también la unificación de las cuatro fuerzas fundamentales, a lo que la gravitación se resiste. Y, sobre todo, la comprensión fina de lo que ocurrió poco después del Big Bang.

Con el Higgs sabremos un poco más, sí. Pero estaremos muy lejos aún de poder contestar a las preguntas fundamentales del ser humano: de dónde venimos, dónde estamos, cómo es lo que nos rodea... y, sobre todo, adónde va todo esto. ©

› María del Vigo Fernández,
Área de Comunicación
del CSN



Torres de refrigeración

En cualquier ciclo de generación de energía, el calor que se produce en la operación debe ser eliminado. Esto es así no solo en las centrales nucleares, sino también en plantas de ciclo combinado, o en centrales térmicas de combustibles fósiles, por ejemplo.

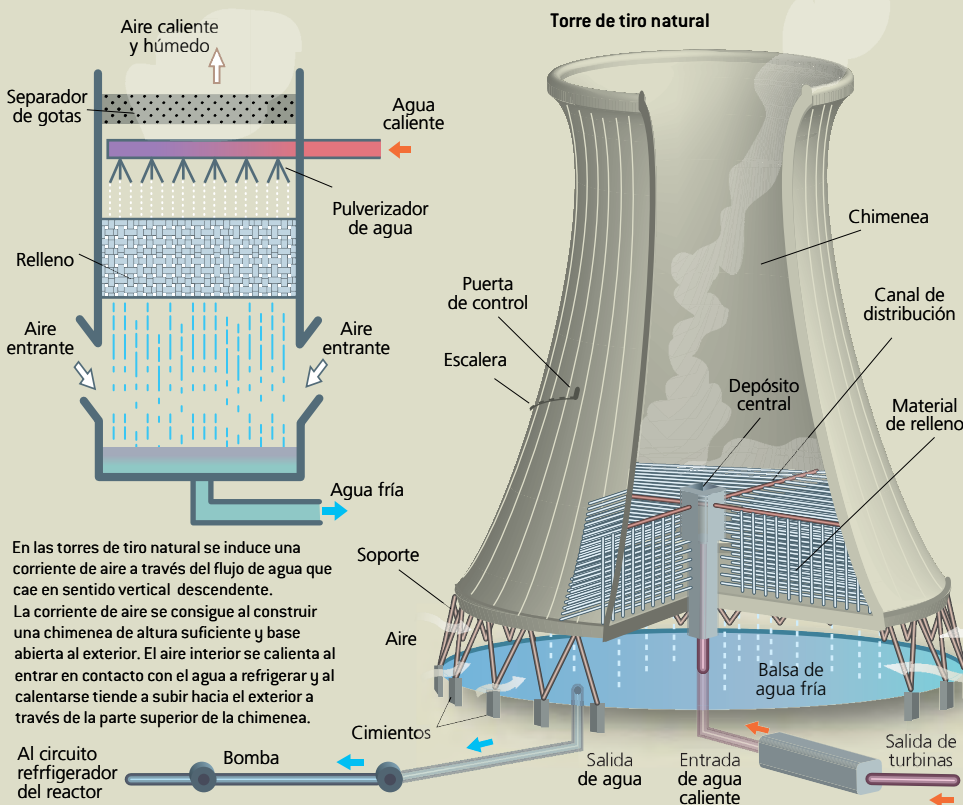
El método de refrigeración de una central nuclear más simple son los intercambiadores de calor, que funcionan utilizando el agua de ríos u océanos y la devuelven a estos tras el proceso de refrigeración. Sin embargo, el uso masivo y directo de agua en entornos naturales de este tipo está regulado por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente para evitar el impacto térmico a la fauna y la flora del cauce del río o cuenca receptora de las aguas de descarga. Las confede-

raciones hidrográficas de las cuencas en las que se encuentran las centrales son las encargadas de otorgar a los titulares la correspondiente autorización de vertido.

Así, la principal función de las torres de refrigeración húmedas es enfriar el agua que se genera en un determinado proceso y devolverla a la atmósfera de una forma eficiente, económica y no agresiva.

La torre de refrigeración es el último eslabón de la cadena de disipación del calor de una central nuclear, por lo que no se puede explicar su razón de ser sin aclarar previamente el funcionamiento del sistema de refrigeración completo. Es decir, el circuito primario, que conecta directamente con la vasija del reactor, el

Esquema de funcionamiento de una torre de refrigeración



secundario (en el caso de las centrales nucleares de agua a presión), que toma el calor del primario y lo transforma en energía eléctrica mediante una turbina y, por último, el circuito terciario que comunica al anterior con la torre o torres de refrigeración.

El primario y el secundario son circuitos cerrados. El agua que inunda el reactor, que está completamente aislada, se enfría gracias al intercambio térmico que se da en el generador de vapor, que transmite el calor al sistema secundario sin que se mezclen los fluidos de ambas corrientes.

El agua de este sistema secundario, tras su paso por la turbina se enfría, como en el caso anterior, en el condensador. La corriente de agua que atraviesa el condensador bajando la temperatura del fluido del sistema secundario se enfría finalmente en las torres de refrigeración. Todo este proceso es básico en el funciona-

miento de una central, ya que tiene como objetivo mantener el núcleo del reactor a la temperatura adecuada y evitar su calentamiento progresivo, que podría llegar a producir la fusión de este núcleo.

Al contrario que las primeras fases del proceso de refrigeración, las torres son circuitos semicerrados con aperturas en las partes superior e inferior que hacen que se generen corrientes de aire para mejorar el proceso de transferencia de calor al hacer caer el agua entrante sobre el sistema de relleno. Este sistema está formado por una serie de placas o rejillas que pueden actuar de dos formas: generando una fina pulverización de las gotas de agua (relleno de salpicadura), o mediante una delgada capa de agua muy extendida (relleno de película).

Con el simple contacto del agua con el aire se produce el 10% del enfriamiento

necesario y, posteriormente, esa corriente pulverizadora hace que parte del agua se evapore y que las gotas que no lo hacen vayan enfriándose progresivamente, en la medida en que sí lo hacen otras. El agua no evaporada se recoge en el fondo de la torre, desde donde son impulsadas al condensador para comenzar de nuevo el ciclo de enfriamiento. Además, el sistema de relleno aumenta el tiempo de caída del agua dentro de la torre, lo que también aumenta la eficacia del fenómeno de transferencia de calor. La cantidad de agua que se cede al aire en este proceso es de aproximadamente un 1% del caudal necesario para el enfriamiento del refrigerante.

Las torres de refrigeración pueden llegar a ser muy diferentes, pero su característica común y fundamental es que enfrían el agua evaporando parte de la misma. En función de la forma en la que la corriente de aire que favorece el enfriamiento se mueve dentro de las torres, éstas se pueden clasificar en:

—Torres de tiro natural, en las que las diferencias de presión y de temperatura entre la parte superior e inferior de la torre, generan corrientes que mueven el aire de forma natural. A su vez se pueden dividir en torres atmosféricas, que utilizan los vientos donde el aire se mueve horizontalmente y el agua cae de manera vertical, y en torres de tiro natural propiamente dichas, en las cuales se induce una corriente de aire, generalmente vertical ascendente, a través del flujo de agua que cae en sentido vertical descendente.

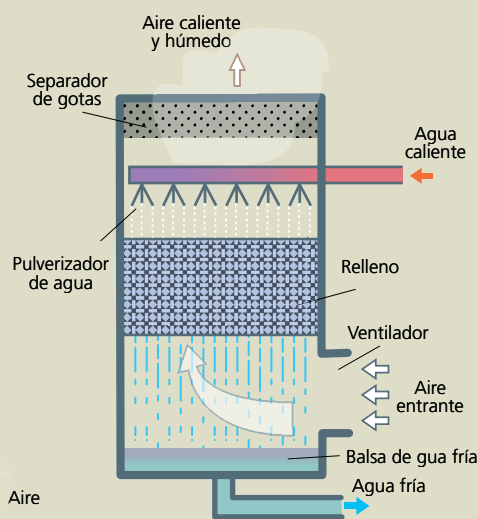
—Torres mecánicas, cuando el aire se mueve mediante ventiladores. Pueden ser de tiro inducido, en las que los ventiladores, situados en la parte superior de la torre, absorben el aire facilitando su expulsión al exterior de la torre, o de tiro forzado, donde los ventiladores se sitúan en la parte inferior, y empujan el aire hacia arriba.



Torres de tiro mecánico

Torre de tiro mecánico forzado

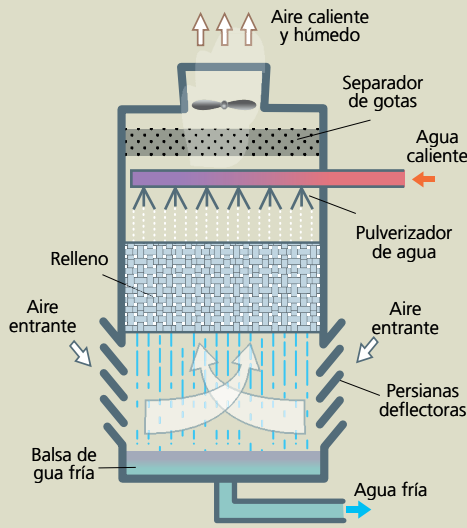
En las torres de tiro mecánico forzado e inducido los ventiladores se instalan en la entrada de aire y fuerzan al aire a pasar a través de la corriente de agua.



Las torres de tiro forzado son más eficientes que las de tiro inducido ya que al tomar aire del exterior lo toman a presión atmosférica y en estas condiciones son capaces de mover mayores cantidades de aire.

Torre de tiro mecánico inducido

En las torres de tiro inducido los ventiladores se sitúan a la salida del aire, creando un vacío en el interior de la torre que induce al aire exterior a introducirse en la torre.



En las torres de tiro inducido, el aire a la entrada y a la salida tienen prácticamente la misma presión y no hay motivos físicos que produzcan un retorno del aire de salida hacia la toma de aire de la torre.

› Ignacio F. Bayo
Periodista científico,
director de Divulga

“El análisis completo de las enseñanzas de Fukushima nos llevará casi 10 años”

André-Claude Lacoste nació en 1941 y se graduó en 1960 en la Escuela Politécnica y en 1963 en la Escuela de Ingenieros de Minas de París. Ha desarrollado toda su carrera en el sector público donde fue, sucesivamente y a lo largo de sus primeros años de actividad, técnico del Ministerio de Industria en la región Nord Pas-de-Calais, director de la Escuela de Ingenieros de Minas de Douai y responsable de la Dirección Regional de Industria, Investigación y Medio Ambiente. Desde 1978 a 1990, ya en la administración central de su ministerio, fue responsable de diversos departamentos relacionados con la seguridad industrial, alcanzando el puesto de subdirector general de Industria entre 1990 y 1993.

Ese último año fue elegido como responsable de la Dirección de Seguridad de las Instalaciones Nucleares (DSIN), por entonces organismo regulador nuclear francés, bajo la dependencia de los ministerios de Industria y de Medio Ambiente. En 2002, la DSIN amplió sus competencias a la protección radiológica y en 2006 se convirtió en un organismo independiente de los ministerios indicados, bajo el nombre de Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN), y André-Claude Lacoste fue elegido para dirigir la nueva institución por un periodo de seis años que finaliza el próximo noviembre. Entre otros reconocimientos, Lacoste es oficial de la Legión de Honor francesa.

Tras dos décadas al frente de la seguridad nuclear francesa, André-Claude Lacoste abandonará este año dicha responsabilidad. La suya ha sido probablemente la más larga presidencia en un organismo regulador de este ámbito, lo que unido a la importancia que la energía nuclear tiene en Francia, con sus 59 centrales en servicio, le ha permitido disponer de una atalaya única para conocer la evolución del sector y haber vivido en primera persona algunos de los eventos más destacados de su historia.

Su relación con el Consejo de Seguridad Nuclear y sus presidentes y consejeros durante estos 20 años ha sido fluida y cordial, y ha servido de apoyo a muchas iniciativas surgidas en nuestro país, en las que ha estado presente. La última de ellas fue con ocasión del *International Workshop on Crisis Communication*, que tuvo lugar en Madrid en el mes de mayo. Una buena prueba de su amistad con España fue su participación en el acto de conmemoración del 30 aniversario del CSN, celebrado en el Senado en el año 2010. En esta entrevista, realizada mediante cuestionario escrito, nos ofrece sus opiniones sobre la situación de la seguridad en el mundo, los retos a los que se enfrentan los organismos reguladores y el futuro del sector.

PREGUNTA: ¿Qué características tiene la ASN como regulador nuclear francés?

RESPUESTA: La Autoridad de Seguridad Nuclear (ASN), autoridad administrativa independiente creada al amparo

de la ley 2006-686 de 13 de junio de 2006, sobre la transparencia y la seguridad en materia nuclear (conocida como “ley TSN”) se ocupa, en nombre del Estado, de la regulación de la seguridad nuclear y la protección radiológica con el fin de proteger a los trabajadores, pacientes, al público y al medio ambiente de los riesgos implicados en las actividades nucleares. Asimismo, contribuye a informar a los ciudadanos.

P: ¿Cuáles son sus objetivos?

R: Su misión es ejercer una supervisión nuclear eficiente, imparcial, legítima y creíble que sea reconocida por los ciudadanos y que constituya un referente internacional de buenas prácticas. La ASN no se encarga de la seguridad ni de la protección física de las instalaciones nucleares o la política energética.

P: ¿Cómo considera que ha afectado el accidente de Fukushima al sector nuclear mundial?

R: Este grave accidente nos recordó a todos que, pese a las precauciones tomadas, nunca se puede descartar del todo un accidente. Hay claramente un período antes de Fukushima y un período después de Fukushima, porque este accidente plantea cuestiones fundamentales que van mucho más allá de las características específicas de los reactores de Fukushima y la manera en que se operaron. El análisis completo de toda la información podría llevar hasta 10 años.

P: ¿Qué lecciones han extraído del accidente y qué medidas ha tomado la ASN para las centrales nucleares francesas?



ASN

El nivel de seguridad de las instalaciones examinadas es lo bastante elevado como para que ninguna de ellas deba ser clausurada

R: La ASN inició de inmediato una serie de inspecciones específicas sobre temas relacionados con el accidente y una serie de Evaluaciones de Seguridad Complementarias en las instalaciones nucleares civiles francesas. Estas evaluaciones son la respuesta a la solicitud del 23 de marzo de 2011 por parte del primer ministro de una auditoría de las instala-

ciones francesas, así como a la solicitud del Consejo Europeo de 24 y 25 de marzo de 2011 de realización de pruebas de resistencia en los reactores nucleares europeos. La ASN publicó su informe, que fue presentado al primer ministro y enviado a la Comisión Europea a principios de 2012.

P: *¿Cuáles fueron las principales conclusiones?*

R: Tras las Evaluaciones de Seguridad Complementarias, la ASN considera que el nivel de seguridad en las instalaciones examinadas es lo suficientemente alto como para no requerir el cierre de ninguna de ellas. Pero también considera que su funcionamiento debe estar sujeto al aumento de su resistencia frente a situaciones extremas, más allá de los márgenes de seguridad que contemplan actualmente, lo antes posible. La ASN requerirá, por tanto, que los titulares de las licencias tomen una serie de medidas y refuercen los requisitos de seguridad en relación con la prevención de riesgos naturales (terremotos e inundaciones) y los asociados con otras actividades industriales, el control de los subcontratistas y la gestión de las no conformidades.

P: *¿Y en el conjunto de Europa, una vez finalizado todo el proceso de las pruebas de resistencia realizadas por las centrales?*

R: ENSREG respondió a la petición formulada por el Consejo Europeo en marzo de 2011 de poner en marcha una evaluación de la seguridad de los reactores a la luz de los acontecimientos ocurridos en Fukushima (pruebas de resistencia). Este trabajo ha movilizó a miles de profesionales entre el personal de las operadoras nucleares, organismos reguladores y organizaciones de apoyo técnico (OAT) europeas, además de en el seno de los servicios de la Comisión Europea. Para la única fase de *peer reviews*, que se desarrolló de enero a abril de 2012, cerca de 80 expertos de 24 países evalua-

ron, junto con la Comisión Europea, los informes nacionales de los 17 países participantes sobre más de 140 reactores nucleares ubicados en Europa. El trabajo en conjunto representa alrededor de 500 hombres-año. Este ejercicio europeo se efectuó, además, con gran rigor y en un plazo de tiempo muy ajustado. Asimismo se llevó a cabo con un espíritu de transparencia y franqueza, dando lugar a varias iniciativas para presentar públicamente el proceso de las pruebas de resistencia y atraer la intervención de las partes interesadas.

P: *¿Cuáles son los siguientes pasos a dar?*

R: ENSREG y la Comisión Europea tienen la intención de desarrollar ahora un Plan de Acción consistente especialmente en un proceso de seguimiento de las recomendaciones del informe de los *peer reviews*. Con el fin de mejorar la seguridad en todo el mundo, Europa debe promover el enfoque y los resultados de las pruebas de resistencia a nivel internacional. Un paso importante será la reunión extraordinaria de la Convención sobre Seguridad Nuclear, que se celebrará en Viena a finales de agosto de 2012.

P: *¿Cuál sería su propuesta o sugerencia para continuar incrementando la seguridad nuclear en la Unión Europea?*

R: La construcción de un área de seguridad nuclear europea ha sido siempre un objetivo importante para la Autoridad de Seguridad Nuclear francesa. Se ha logrado avanzar en la construcción de esta área con la aprobación de dos directivas europeas, una sobre seguridad nuclear en 2009, y la otra sobre la gestión de los residuos radiactivos y el combustible gastado en 2011. Tras Fukushima, tenemos que reforzar nuestros medios para dar una respuesta europea a la preparación para emergencias fuera de los emplazamientos. Esta cuestión ha sido planteada por las partes interesadas (organismos reguladores, ONG) tras Fukushima y tenemos que emprender dicha respuesta a nivel europeo. Debemos tener en cuenta que la principal responsabilidad sobre seguridad nuclear recae en los operadores, y sería bastante deseable una mayor participación y cooperación entre estos con el fin de mejorar la seguridad. En términos generales, creo que los procesos de abajo-arriba, esto es, de cooperación informal entre clubes y asociaciones de organismos reguladores u operadores, son muy útiles para incrementar la seguridad



ASN

Autoridad de seguridad fiable. Cuanto más independiente del Gobierno y de los titulares de licencias sea dicha Autoridad, mayor será la confianza que merezca y obtenga del público. Con vistas a recabar de Japón información sobre Fukushima, organizamos una red eficiente e informal con algunos países (EE UU, Canadá, Reino Unido). De esta manera fuimos capaces de reaccionar y compartir información durante la crisis.

P: *Después de tantos años ligado a la seguridad nuclear, ¿cómo la ha visto evolucionar? ¿Cuáles son los próximos pasos a dar?*

R: Tengo la sensación de que ha habido un avance global en materia de seguridad nuclear en todo el mundo, pero con situaciones diferen-

tes en distintos países. Uno de los peores peligros es el de la autocomplacencia: estás tan seguro de que eres bueno que no te comparas con otros países y se te olvida el hecho de que

—y aquí vuelvo a su primera pregunta— no se puede descartar por completo un accidente.

P: *Este año deja la Presidencia de la ASN. ¿A qué retos se enfrentará la persona que le sustituya?*

R: Estoy seguro que el nuevo presidente de la ASN tendrá todas las cualidades necesarias para llevar los asuntos que son actualmente competencia de la ASN y que aportará muchas ideas nuevas y un montón de retos difíciles y estimulantes que superar.

P: *Y usted personalmente, ¿qué proyectos afronta para el futuro?*

R: Lo único que puedo decir es que no me imagino dejando de trabajar del todo cuando mi mandato acabe. Esperemos a ver qué pasa.

“

Cuanto más independiente sea el organismo regulador del Gobierno y de los regulados mayor confianza del público merecerá

”



› **Maria Luisa Ramírez,**
Técnico del Área
de Instalaciones Radiactivas
y Exposiciones Médicas

› **Fernando Zamora,**
Jefe del Área de Transportes
y Fabricación de Combustible
Nuclear

El CSN aplica desde 2009 los cambios introducidos en la Escala Internacional de Sucesos Nucleares y Radiológicos

Aplicación de la escala INES en instalaciones radiactivas y transporte

Las escalas son un medio simple de transmitir un mensaje. Sirven como instrumentos para difundir información fácil de entender y que esté disponible en el momento oportuno. La Escala Internacional de Sucesos Nucleares y Radiológicos (INES) se emplea para comunicar al público de manera rápida y coherente la importancia para la seguridad de sucesos asociados a fuentes de radiación. Al analizar estos sucesos desde una perspectiva adecuada, el uso de la escala INES puede fomentar una comprensión común entre la comunidad técnica, los medios de comunicación y el público. Se trata de una herramienta de comunicación sencilla y simple, semejante a la conocida escala de Richter en el ámbito de la comunicación pública sobre la importancia de un terremoto.

El desarrollo de la escala INES comenzó hace más de 20 años. Fue diseñada en 1990 por expertos internacionales convocados por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y la Agencia de Energía Nuclear de la OCDE (NEA/OCDE). Se basó, al principio, en la experiencia obtenida del uso de escalas parecidas empleadas en Francia y en Japón.

La escala se aplicó inicialmente solo para clasificar sucesos que ocurrieran en centrales nucleares. Así continuó hasta el año 2001, cuando se amplía su alcance para incluir sucesos en instalaciones radiactivas y en transporte. Sin embargo, en las pruebas de aplicación realizadas entre varios países, entre ellos España, se observó la necesidad de desarrollar criterios específicos que tuvieran en cuenta las características de este tipo de prácticas.

Se comenzó entonces un proceso de aplicación y adaptación de la INES para dar respuesta a la creciente necesidad de comunicación de sucesos que ocurrían en áreas

no nucleares y con el objetivo de incluirlos todos bajo una única escala. Este proceso culmina cuando el OIEA publica, en el año 2008, el manual que se encuentra actualmente vigente. En un solo documento se proporcionan criterios y orientaciones para todos los usos, es decir, para todos los sucesos relacionados con el transporte, almacenamiento y uso de material radiactivo y de fuentes de radiación.

El OIEA gestiona el desarrollo de la escala en colaboración con la NEA/OCDE y con el apoyo de más de 60 coordinadores nacionales designados que representan oficialmente a los Estados miembros de INES en la reunión técnica bianual de la misma.

Información básica

Como ya se ha dicho, la escala se aplica a cualquier suceso asociado con el transporte, almacenamiento y uso de materiales radiactivos, con independencia de que ocurra o no dentro de una instalación nuclear o radiactiva. Abarca, por tanto, suce-

sos derivados de una amplia gama de actividades, tales como el uso industrial y médico de fuentes de radiación, la explotación de instalaciones nucleares o el transporte de los materiales radiactivos. También se aplica a la pérdida o robo de fuentes o bultos radiactivos y al hallazgo de fuentes huérfanas, como las transferidas involuntariamente al comercio de chatarra.

Es importante tener claro que la escala INES no se utiliza para determinar las consecuencias reales o potenciales de la exposición de pacientes en el contexto de un procedimiento médico y que está concebida para su uso exclusivo en aplicaciones civiles (no militares). La escala se aplica únicamente a los aspectos de seguridad radiológica de los sucesos y no busca clasificar sucesos relacionados con la seguridad física ni actos dolosos cometidos con el propósito de exponer a radiación a las personas.

En ningún caso la escala trata de establecer requisitos de notificación de sucesos a la autoridad reguladora ni definir criterios de actuación ante emergencias radiológicas, que se regulan a través de normativas específicas. Por otra parte, no es adecuado usar la escala para comparar el comportamiento de instalaciones, organizaciones o países desde el punto de vista de la seguridad, dada la escasa importancia estadística de los sucesos de niveles superiores y las diferencias entre los países en cuanto a la comunicación al público de los sucesos poco significativos.

La escala INES tiene una base técnica sólida y clasifica los sucesos en siete niveles (figura 1).

Los sucesos de los niveles 1 a 3 se denominan *Incidentes*, mientras que los niveles del 4 al 7 se califican como *Accidentes*. Cuando los sucesos no revisten importancia desde el punto de vista de la seguridad radiológica se considera que no han tenido importancia para la seguridad y se clasifican por debajo de la escala como nivel 0.

Figura1. Niveles de la escala INES



Los sucesos se clasifican por referencia a tres áreas de impacto:

— Las personas y el medio ambiente: se refiere a las dosis de radiación recibidas por personas próximas al lugar donde ocurre un suceso y a la liberación no prevista, en un área amplia, de materiales radiactivos fuera de una instalación.

— Barreras y controles radiológicos: abarca sucesos que no tienen impacto directo sobre las personas y el medio ambiente, que ocurren dentro de grandes instalaciones y que implican niveles altos de radiación no previstos y liberación de grandes cantidades de materiales radiactivos que se mantienen confinados en las instalaciones.

— Defensa en profundidad: también abarca sucesos que no llegan a afectar a las personas ni al medio ambiente,

pero en los que el conjunto de medidas establecidas para prevenirlos no funciona conforme a lo previsto.

Por tanto, los sucesos clasificados dentro de las áreas de impacto a personas y medio ambiente y de barreras y controles radiológicos son sucesos con “consecuencias reales”, mientras que la reducción de la defensa en profundidad cubre primordialmente sucesos que no tienen tales consecuencias reales, sino potenciales.

En la tabla 1 se muestran los criterios generales de la escala INES para clasificar los sucesos en cualquier ámbito de actividad con materiales radiactivos. El nivel 1 contempla tan sólo la degradación de la defensa en profundidad. Los niveles 2 y 3 cubren degradaciones más serias de la defensa en profundidad o niveles más bajos de consecuencias reales para las personas

Tabla 1. Criterios generales de la escala INES para clasificar los sucesos

Personas y medio ambiente		Barreras y controles radiológicos
Accidente grave Nivel 7	■ Liberación grave de materiales radiactivos con amplios efectos en la salud y el medio ambiente, que requiere la aplicación y prolongación de las contramedidas previstas.	
Accidente importante Nivel 6	■ Liberación importante de materiales radiactivos, que probablemente requiere la aplicación de las contramedidas previstas.	
Accidente con consecuencias más amplias Nivel 5	■ Liberación limitada de materiales radiactivos, que probablemente requiere la aplicación de algunas de las contramedidas previstas. ■ Varias defunciones por radiación.	■ Daños graves en el núcleo del reactor ■ Liberación de grandes cantidades de materiales radiactivos dentro de una instalación, con alta probabilidad de exposición del público, provocada posiblemente por un incendio o un accidente de criticidad grave.
Accidente con consecuencias locales Nivel 4	■ Liberación menor de materiales radiactivos, con escasa probabilidad de tener que aplicar las contramedidas previstas, salvo los controles locales de alimentos. ■ Al menos una defunción por radiación.	■ Fusión de combustible o daño al combustible, que provoca una liberación superior al 0,1% del inventario del núcleo. ■ Liberación de cantidades considerables de materiales radiactivos dentro de una instalación, con alta probabilidad de importante exposición del público.
Incidente importante Nivel 3	■ Exposición diez veces superior al límite anual establecido para la exposición de los trabajadores. ■ Efecto no letal de la radiación en la salud (por ejemplo, quemaduras).	■ Tasas de exposición superiores a 1 Sv/h en una zona de operación. ■ Contaminación grave en una zona no prevista en el diseño, con escasa probabilidad de exposición importante del público.
Incidente Nivel 2	■ Exposición de una persona del público por encima de 10 mSv. ■ Exposición de un trabajador por encima de los límites anuales reglamentarios.	■ Niveles de radiación superiores a 50 mSv/h en una zona de operación. ■ Contaminación importante de una instalación en una zona no prevista en el diseño.
Anomalía Nivel 1		

o las instalaciones. Los niveles 4 a 7 contemplan niveles crecientes de consecuencias reales para las personas, el medio ambiente o las instalaciones.

La clasificación final de un suceso tiene que considerar todos los criterios descritos. Cada suceso debe considerarse en re-

lación con cada uno de los criterios que aplican, pero en el caso de fuentes de radiación y transporte solo se consideran las áreas de impacto a personas y defensa en profundidad. La clasificación que finalmente se asigne al suceso será la mayor que se obtenga al aplicar los diferentes criterios.

Aunque la escala INES cubre una amplia gama de prácticas, no es creíble que los sucesos asociados a instalaciones radiactivas y al transporte alcancen los niveles más altos de la escala; es decir, difícilmente superarán el nivel 5.

Defensa en profundidad

- Cuasi accidente en una central nuclear sin provisiones de seguridad pendientes de aplicación.
- Pérdida o robo de fuentes selladas de alta actividad.
- Entrega equivocada de fuentes selladas de alta actividad, sin que existan procedimientos adecuados para manipularlas.

- Fallos importantes en las provisiones de seguridad, aunque sin consecuencias reales.
- Hallazgo de una fuente sellada huérfana, de un dispositivo o de un bulto de transporte de alta actividad con las provisiones de seguridad intactas.
- Inadecuado embalaje de una fuente sellada de alta actividad.

- Sobreexposición de una persona del público por encima de los límites anuales reglamentarios.
- Problemas menores en componentes de seguridad, con importantes medidas de defensa en profundidad pendientes de aplicación.
- Pérdida o robo de fuentes radiactivas, de dispositivos o de bultos de transporte de baja actividad.

Criterios de clasificación de sucesos con fuentes radiactivas y en transporte

Impacto sobre las personas y el medio ambiente

El enfoque más sencillo sería basar la clasificación de las consecuencias reales para

las personas en las dosis recibidas. Para los accidentes, sin embargo, puede que esta no sea una medida adecuada que refleje las consecuencias. Por ejemplo, podría ocurrir que se aplicaran medidas de emergencia para la evacuación de los miembros del público y que como resultado las

dosis fueran relativamente bajas, incluso aunque se tratara de un accidente significativo en una instalación. Por tanto, clasificar un suceso solo sobre la base de las dosis recibidas, no comunicaría todo lo que ha pasado. Por ello, para los niveles altos (niveles de 4 a 7 - *Accidentes*) de la escala INES, se han desarrollado criterios basados en la cantidad de material radiactivo liberado y no solo en la dosis recibida.

Con el fin de tener en cuenta los diferentes materiales radiactivos que podrían ser potencialmente liberados, la escala emplea el concepto de “equivalencia radiológica”. De este modo, la cantidad se define en términos de terabecquerelios (TBq) de Yodo-131 (I-131), y se establecen factores de conversión para identificar el nivel equivalente de otros isótopos que tendrían como consecuencia el mismo nivel de dosis efectiva. Cada nivel se define entonces en función de un valor de liberación de material radiactivo. El nivel 4 es aquel suceso que daría lugar a una liberación de entre decenas a cientos de TBq de I-131; por encima de ese nivel, los límites están alrededor de 500 TBq de I-131 para nivel 5; 5.000 TBq de I-131 para nivel 6 y 50.000 TBq de I-131 para nivel 7.

Es evidente que estos criterios solo se aplican a prácticas en las que existe ese potencial de dispersar una cantidad tan significativa de material radiactivo. Por ello, para sucesos en instalaciones radiactivas y transporte se considera que solo se puede alcanzar por este criterio el nivel 5.

El otro criterio para determinar la clasificación se basa en las dosis recibidas y en el número de personas expuestas, y los niveles 1 a 6 incluyen una definición sustentada en ese criterio. Se basa en dosis recibidas o con una alta probabilidad de que hayan sido recibidas en un único suceso, excluyéndose por tanto las exposiciones acumulativas. Cada criterio

Tabla 2. Criterios de dosis de la escala INES

Nivel de exposición	Clasificación mínima	Número de individuos	Clasificación real
Efecto determinista letal o Probabilidad de un efecto determinista letal debido a una dosis absorbida a cuerpo entero del orden de unos pocos Gy	4	Algunas ¹ decenas o más Entre varias y algunas decenas Menos que varias decenas	6 ² 5 4
Efecto determinista no letal o probabilidad de ese efecto	3	Algunas decenas o más Entre varias y algunas decenas Menos de varias decenas	5 4 3
Exposición que da lugar a una dosis efectiva superior a diez veces el límite anual de dosis al cuerpo entero reglamentario para trabajadores	3	100 o más 10 o más Menos de 10	5 4 3
Exposición de un miembro del público que da lugar a una dosis efectiva superior a 10 mSv o Exposición de un trabajador por encima de los límites anuales de dosis reglamentarios	2	100 o más 10 o más Menos de 10	4 3 2
Exposición de un miembro del público superior a los límites de dosis reglamentarios anuales o Exposición de un trabajador por encima de las restricciones de dosis	1	100 o más 10 o más Menos de 10	3 2 1 ³
Exposición acumulada de los trabajadores o de los miembros del público superior a los límites de dosis reglamentarios anuales	1	1 o más	1 ³

¹ Como orientación se considera que "varias" es más de tres, y "algunas decenas", más de 30.

² El nivel 6 se considera poco creíble para los sucesos relacionados con fuentes de radiación.

³ La definición del nivel 1 se basa en criterios reguladores dentro de criterios de defensa en profundidad, pero se incluyen aquí por referirse a dosis.

define un nivel mínimo que luego se puede incrementar en función del número de individuos expuestos. En la tabla 2 se resumen los criterios de clasificación en función de dosis.

Defensa en profundidad

La mayoría de los sucesos que ocurren en el ámbito de las instalaciones radiactivas y el transporte se clasifican dentro del área de Defensa en Profundidad (DP). Este concepto significa que en las instalaciones y en los transportes la seguridad se basa en el uso de múltiples barreras, sistemas, componentes y procedimientos

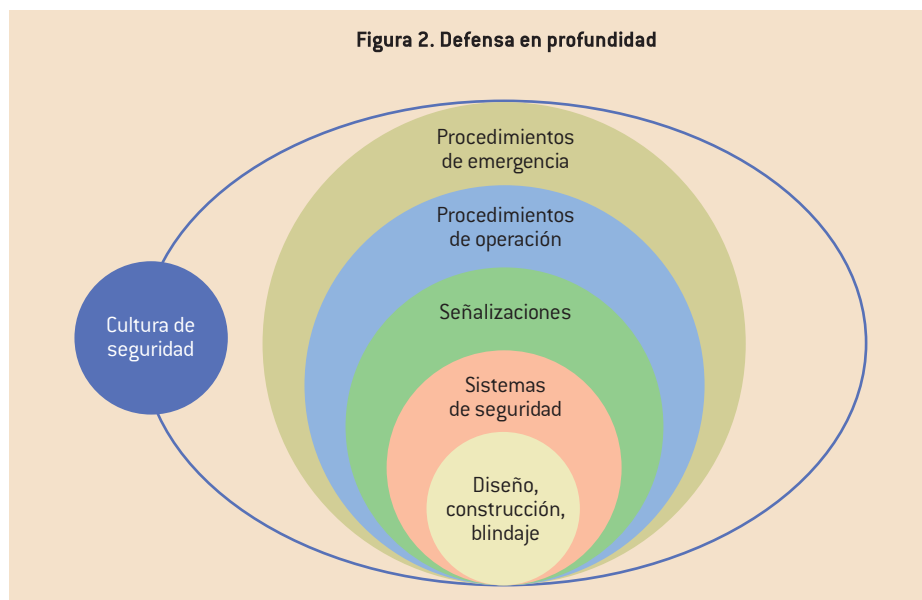
(disposiciones de seguridad), y además en una cultura general de seguridad que fortalezca cada uno de esos aspectos, de manera que han de darse múltiples fallos para que ocurra un daño real al público o al medio ambiente. La metodología INES clasifica un suceso en DP a través del análisis de la degradación de esas disposiciones de seguridad, determinando lo cerca que está un suceso de causar consecuencias reales.

Los criterios para clasificar los sucesos relativos a los transportes y las fuentes de radiación en DP se recogen en la sección IV del manual INES. Esta sección

se divide en tres subsecciones: una que da los principios generales que hay que usar para clasificar sucesos en DP, otra que ofrece orientaciones más detalladas y la tercera que muestra una serie de ejemplos prácticos.

La clasificación en DP dependerá de las consecuencias máximas potenciales que habría tenido el suceso si se hubieran perdido todas las disposiciones de seguridad y, por tanto, dependerá también del nivel de riesgo de las fuentes radiactivas involucradas. Así, los pasos básicos para realizar la clasificación en DP serán:

Figura 2. Defensa en profundidad



— Determinar el riesgo del material radiactivo presente en el suceso. Esta valoración se realiza a través de la categoría de las fuentes radiactivas, que se basa en la actividad de la fuente y en el valor D. Estos parámetros están definidos para cada radionucléido en los documentos del OIEA RS-G-1.9, sobre categorización de fuentes, y EPR-D-Values, que lista los valores D.

— Determinación de las consecuencias máximas potenciales del suceso dependiendo de la categoría de las fuentes involucradas. De estas consecuencias potenciales máximas se determinará la clasificación máxima posible en DP que, teniendo en cuenta que el suceso no ha tenido consecuencias reales, deberá ser menor que si las hubiera habido.

— Determinación de la clasificación final en función del nivel de degradación de las disposiciones de seguridad. El manual INES lista una serie de tipos de sucesos para cada una de estas tres situaciones:

- No ha habido degradación de las disposiciones de seguridad.
- Quedan algunas disposiciones de seguridad.
- No quedan disposiciones de seguridad.

Para cada tipo de suceso el manual indica un nivel de clasificación en fun-

ción de la categoría de las fuentes radiactivas involucradas en el suceso (categoría 1, 2, 3 o 4).

Además, se considera el caso particular de pérdida de fuentes radiactivas o de bultos de transporte que contienen material radiactivo. En este caso, la clasificación dependerá de las circunstancias asociadas a la pérdida y de la categoría de las fuentes involucradas. Tampoco en este caso la clasificación resultante podrá ser mayor que la determinada al considerar las consecuencias potenciales máximas del suceso.

Por último, el sistema de clasificación reconoce que puede haber sucesos que no puedan encuadrarse en ninguno de los anteriores, y por ello lista una serie de casos que denomina “otros sucesos relevantes para la seguridad”, para los que ofrece opciones de clasificación también en función de la categoría de las fuentes radiactivas.

En algunos casos el procedimiento concluye la opción entre dos niveles de clasificación. En tales casos, se han de analizar los aspectos de cultura de seguridad para decidir entre ambos. En el caso de que se detecten debilidades en la cultura de seguridad debe escogerse el nivel

de clasificación más alto. Serían problemas en la cultura de seguridad: violaciones de límites o requisitos autorizados o de un procedimiento sin autorización previa, deficiencias en el proceso de garantía de calidad, una acumulación de errores humanos, un inadecuado control sobre los materiales radiactivos o la repetición de sucesos, comprobándose que el titular no ha implantado medidas correctoras respecto al primero que ocurrió.

Implantación de la clasificación INES en sucesos con fuentes radiactivas y en transporte

Proceso de implantación

El CSN ha participado activamente en todas las fases que condujeron a la publicación de la edición 2008 del manual INES, que ya recoge la clasificación de sucesos con fuentes radiactivas y en transportes. Durante ese proceso, que duró varios años, en el CSN se fueron probando los criterios de clasificación que se iban definiendo a través de varias fases piloto. Las pruebas se realizaron con todos los sucesos reales que iban ocurriendo en España en el ámbito de las instalaciones radiactivas y el transporte de material radiactivo.

Estos periodos de pruebas han permitido analizar y evaluar de forma práctica la aplicación de los criterios de clasificación y así adquirir una gran experiencia y conocimiento de la escala INES para sucesos no nucleares; experiencia y conocimiento de los que participan pocos organismos reguladores, entre los que hay que destacar la Nuclear Regulatory Commission (NRC) de los Estados Unidos de América y la Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) de Francia, que también han estado muy involucrados en el desarrollo del nuevo manual.

Durante estos periodos piloto, la gran mayoría de los sucesos ocurridos en el ámbito de las instalaciones radiactivas quedaron encuadrados en el nivel 0 (por



La mayor parte de las instalaciones radiactivas son de uso médico.

debajo de escala / sin significación para la seguridad) o en el nivel 1 (anomalía).

Entre los sucesos de nivel 0 se encontrarían aquellos esperados durante la vida de la instalación y durante los que se mantuvieron los sistemas de seguridad requeridos en operación (por ejemplo, el daño de equipos que contienen fuentes, pero sin pérdida de barreras de seguridad); sucesos con daños a equipos con fuentes en los que se produce una pérdida parcial de barreras de seguridad, pero durante los que se aplican los procedimientos de emergencia y se pudieron restaurar las fuentes a su almacenamiento de seguridad; y por último sucesos de incendios pequeños en la instalación sin afectación a los sistemas de seguridad.

Entre los sucesos de nivel 1 podemos encontrar casos de pérdida de fuentes o la localización de material radiactivo en lugares erróneos (por fallo de control de inventario); daños a equipos con fuentes en los que no se ha mantenido ninguna barrera de seguridad y fa-

llos en el seguimiento de los procedimientos de operación. En estos periodos de prueba solo dos sucesos se clasificaron por encima del nivel 1, uno en el nivel 2 y otro en el 3, y ambos implicaron sobreexposición de trabajadores.

En el caso del transporte, todos los sucesos que se clasificaron en los periodos de prueba alcanzaron como máximo el nivel 1, siendo la gran mayoría de nivel 0. Los sucesos que han ocurrido con mayor frecuencia en el transporte de material radiactivo han sido incidencias en el manejo de bultos radiactivos en terminales de aeropuertos, accidentes de tráfico o robo y extravío de bultos radiactivos.

Toda esta utilización en pruebas facilitó la transmisión por el CSN de comentarios sobre las dificultades encontradas, lo que sirvió para mejorar el procedimiento y los criterios finalmente introducidos en la edición 2008 del manual INES. En definitiva, el proceso de pruebas de los criterios de clasificación fue suficientemente extenso como

para poder valorar la viabilidad de su aplicación y, considerando el número y tipo de sucesos reales clasificados, poder tener confianza suficiente en los criterios que finalmente se han introducido en dicho manual para la clasificación de sucesos con fuentes radiactivas y en el transporte.

Finalmente, en noviembre de 2009 el Pleno del CSN aprobó la propuesta de extensión de la escala INES a sucesos ocurridos en instalaciones radiactivas y en el transporte, de manera que actualmente, cuando se produce cual-

quier suceso en esos ámbitos, en el CSN se procede a su clasificación de acuerdo con los criterios recogidos en la edición 2008 del manual INES. En el caso de que ese análisis concluya que la magnitud del suceso supone su clasificación dentro de la escala INES se le asigna uno de los niveles y se informa públicamente por diversos mecanismos (como una reseña en la página web del CSN o una nota de prensa). El mecanismo de notificación varía en función de la gravedad del suceso, de acuerdo con los procedimientos internos aprobados en el CSN.

Clasificación de sucesos desde la implantación de la edición 2008 del manual INES

Desde la aprobación por el CSN de la aplicación de la edición 2008 del manual INES, en noviembre de 2009, se han clasificado un total de 44 sucesos en instalaciones radiactivas y ocho en el transporte de material radiactivo.

En el área de instalaciones radiactivas la mayoría han sido sucesos de nivel 0 o nivel 1. En cuanto a los tipos de sucesos, la mayoría se pueden agrupar en sucesos esperados durante la vida de la instalación y que ocurren con los sistemas de seguridad requeridos en operación, tales como daño al equipo que contiene las fuentes, pero sin exposición ni daños a las mismas (es decir sin pérdida de barreras de seguridad); por ejemplo, la caída al suelo de un equipo de medida de densidad de suelos sin que se produzca exposición de la fuente. En otros casos se han producido daños en el equipo que contiene las fuentes dando lugar a la pérdida de barreras de seguridad; por ejemplo, la no retracción de una fuente radiactiva a un gammágrafo durante los trabajos de radiografiado, pero en su gestión se han seguido los procedimientos de emergencia y se han podido restaurar las fuentes a su almacenamiento de seguridad, de tal forma que, aunque los trabajadores podrían haber recibido una dosis de radiación no planificada, ésta no resultó significativa. Por último se incluyen también incendios pequeños sin afectación a los sistemas de seguridad. Todos ellos corresponden al nivel 0.

Otro grupo comprende sucesos como la pérdida de fuentes, la localización de material radiactivo en lugar erróneo (por fallo de control de inventario), daños a equipos con fuentes en los que no se ha mantenido ninguna barrera de seguridad y/o fallo en el seguimiento de los procedimientos de operación. La clasificación INES en estos sucesos fue de nivel 1.

En el ámbito del transporte, de los ocho sucesos ocurridos, cinco han sido accidentes de tráfico, todos ellos clasificados como nivel 0, uno se debió al extravío de un bulto, clasificado como nivel 0, y los dos restantes consistieron en el robo de bultos radiactivos en vehículos de transporte, y fueron clasificados como nivel 1.



Desde noviembre de 2009 se han producido ocho sucesos en el transporte de material radiactivo.

Conclusiones

La Escala Internacional de Sucesos Nucleares y Radiológicos (INES) se emplea para comunicar al público de manera sencilla, simple, rápida y coherente la importancia para la seguridad radiológica de los sucesos asociados a fuentes de radiación. Su uso facilita una comprensión común entre la comunidad técnica, los medios de comunicación y el público de dicha importancia para la seguridad.

A partir de 2008 el alcance de la escala INES se ha extendido desde los sucesos en el sector nuclear a aquellos que ocurren en las instalaciones radiactivas y el transporte de material radiactivo. En este ámbito, que cubre una amplia gama de prácticas, no es creíble que los sucesos lleguen a superar el nivel 5 de los siete niveles que tiene la escala INES y todos los sucesos se clasificarán en las áreas de impacto a personas y medio ambiente y de defensa en profundidad. De hecho, la gran mayoría de los sucesos que habitualmente ocurren en este ámbito se clasifican en esta última área, ya que no suelen tener consecuencias reales sobre las personas y, por tanto, solo es necesario tener en cuenta sus consecuencias potenciales.

El CSN ha participado activamente en todo el proceso de desarrollo de la edición 2008 del manual INES y en noviembre de 2009 aprobó su aplicación en la clasificación de los sucesos radiológicos que ocurren en España. En consecuencia, desde esa fecha, todos los sucesos que se dan en las instalaciones radiactivas y en el transporte se están clasificando en esta escala y el resultado se comunica al público mediante diversos mecanismos de información, dependiendo de la gravedad del suceso.

Es conveniente, por tanto, que los titulares de las instalaciones radiactivas y los diferentes participantes en un transporte de material radiactivo (expedidores, transportistas y receptores) tengan un conocimiento adecuado de este procedimiento de clasificación y del consiguiente mecanismo de comunicación pública. 

Referencias

- [1] INES. *Escala Internacional de Sucesos Nucleares y Radiológicos*. Manual del usuario. Edición de 2008. Organismo Internacional de Energía Atómica.
- [2] INES. *Escala Internacional de Sucesos Nucleares y Radiológicos*. Folleto divulgativo. Consejo de Seguridad Nuclear / Organismo Internacional de Energía Atómica.



› Miguel Calvín Cuartero,
Ramón de la Vega Riber,
Jose Manuel Martín Calvarro,
Subdirección de Emergencias
y Protección Física del CSN

Se completa el esquema normativo español en materia de emergencias nucleares y radiológicas

La Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo Radiológico

La aprobación de la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo Radiológico completa el esquema normativo básico en materia de emergencias nucleares y radiológicas aplicable a nuestro país. Los aspectos más relevantes de la misma se centran en su ámbito de planificación, los grupos de posibles emergencias radiológicas en función del tipo de actividad asociada, los niveles de planificación de la respuesta y las organizaciones responsables, su estructura y funciones para cada nivel, los criterios radiológicos, la implantación y el mantenimiento de la eficacia del nivel de respuesta exterior de los planes. En este artículo se describe la directriz citada, así como el papel del CSN en emergencias radiológicas y el plan de acción para su implantación.

La aprobación en noviembre de 2010 de la nueva Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo Radiológico^[1], completa el esquema normativo básico aplicable a nuestro país en materia de emergencias nucleares y radiológicas, de tal modo que junto con la Directriz Básica del Transporte de Mercancías Peligrosas (clase VII)^[2] y el Plan Básico de Emergencia Nuclear (Plaben)^[3], se establecen los criterios necesarios para la planificación, preparación y respuesta ante las emergencias nucleares y radiológicas en los diferentes contextos que pueden presentarse.

La directriz fue aprobada con el informe preceptivo del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) que constató que cumple con los criterios radiológicos aprobados por el Organismo y con la reglamentación nacional e internacional^[4] aplicable.

El proceso de elaboración de la directriz ha sido complejo y dilatado en el

tiempo, habiendo sido su contenido consensuado por todas las comunidades autónomas y los diferentes organismos públicos del Estado involucrados en las emergencias citadas, a través de la Comisión Nacional de Protección Civil.

Ámbito de aplicación

La directriz es de aplicación a las emergencias radiológicas que pueden tener su origen en instalaciones o actividades que utilicen materiales nucleares y radiactivos (excluidas las centrales nucleares en operación), es decir:

— Accidentes asociados a actividades o instalaciones que habitualmente utilizan sustancias nucleares o radiactivas. Existe una muy amplia diversidad de instalaciones que manejan este tipo de sustancias: instalaciones de almacenamiento de combustible nuclear gastado (bien centralizado o individualizado, temporal o definitivo), de fabricación de combustible nuclear, instalaciones nucleares en desmantelamiento, de almacenamiento de re-

siduos radiactivos e instalaciones radiactivas (industriales, médicas, de investigación, docencia y comercialización). Las instalaciones radiactivas son muy numerosas y utilizan fuentes radiactivas de muy diverso tamaño y peligrosidad. Actualmente existen en el territorio español más de 200 instalaciones radiactivas que cuentan con fuentes de las consideradas como “de muy alta actividad” (las de mayor riesgo asociado), con cerca de 2.000 fuentes de ese tipo. Algunas de estas fuentes, como por ejemplo las utilizadas en radiografía industrial, son objeto de frecuentes desplazamientos y almacenamiento en instalaciones provisionales, lo que aumenta los riesgos asociados.

— Accidentes en otras instalaciones, actividades o situaciones no contempladas en el punto anterior. Entre estas se encuentran aquellas denominadas en la directriz “actividades no reguladas” en las que, por motivos fortuitos, se produce la presencia indeseada o inesperada de fuentes radiactivas fuera de control, como por ejemplo la fusión accidental en acerías de fuentes inadvertidamente incluidas con chatarra; y situaciones en las que se produce un vertido radiactivo procedente de una instalación extranjera, como un accidente en un buque nuclear en la costa o puerto españoles o próximo a ellos, o uno que se produzca en una instalación nuclear extranjera cuya nube radiactiva alcanzara parte o la totalidad del territorio nacional.

— Sucesos excepcionales que tienen su origen en actividades ilícitas cuya intención es provocar daño a las personas o bienes. Entre estas situaciones excepcionales, cabe destacar la posibilidad de utilización de los denominados “Dispositivos improvisados de dispersión radiactiva”, también conocidos como “bombas sucias”. Dichos artefactos tienen por objeto producir (por ejemplo mediante un explosivo) la liberación y dispersión de elevadas cantidades de radionucleidos,



Simulacro de alarma radiológica realizado en noviembre de 2010 en Madrid.

y en ese caso se plantearía una situación de suma gravedad con importantes riesgos para la población en un entorno relativamente grande, contaminación radiactiva duradera de amplias zonas habitadas, etc. La nueva dimensión de la amenaza terrorista, tras los atentados del 11-S y 11-M, hace que estos potenciales riesgos sean objeto de amplia preocupación en la actualidad en los países del entorno español, existiendo diversas iniciativas internacionales para su prevención y, en caso de ocurrir, mitigación de los riesgos asociados para la población.

La directriz no es de aplicación a las emergencias derivadas de las centrales nucleares en explotación (que son objeto del Plan Básico de Emergencia Nuclear), ni a las producidas durante el transporte de materias radiactivas (que son objeto de la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Accidentes en los Transportes de Mercancías Peligrosas por Carretera y Ferrocarril).

Para el caso singular de las instalaciones de almacenamiento temporal de combustible irradiado, en lo que fueron emplazamientos de centrales nucleares

(situación actual en el que se encuentra el Almacén Temporal Individualizado, ATI, de la instalación en desmantelamiento de José Cabrera), la directriz establece un periodo de transición por el que se sigue aplicando el Plaben hasta que el CSN proponga su paso al marco establecido por la directriz, que debe ser anterior o como mucho coincidente con el momento de la declaración de clausura de la instalación y siempre tras el correspondiente análisis de riesgos de la misma, informado preceptivamente por el CSN.

Las instalaciones, actividades y sucesos que caen bajo el ámbito de aplicación de la directriz son coherentes con las cinco categorías de amenazas radiológicas establecidas por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).

Objetivos y niveles de planificación

Los objetivos básicos de la directriz son reducir el riesgo o mitigar las consecuencias de los accidentes producidos en las instalaciones y actividades identificados en el apartado anterior y evitar o reducir en lo posible los efectos adversos de las radiaciones ionizantes sobre la población, el medio ambiente y los bienes.

Para lograr estos objetivos se establecen dos niveles de planificación, el de respuesta interior y el de respuesta exterior.

El nivel de respuesta interior corresponde a las obligaciones que tienen los titulares de las instalaciones o actividades para afrontar las emergencias radiológicas en el ámbito de sus instalaciones.

En el caso de instalaciones reguladas, el nivel de respuesta interior se establecerá en el Plan de Emergencia Interior, que recogerá los criterios establecidos en el Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas^[5] y en la Guía de Seguridad 7.10 del Consejo de Seguridad Nuclear^[6] (guía de carácter recomendatorio). En el caso de instalaciones no reguladas, en las que de manera excepcional pudiera existir riesgo radiológico, el nivel de respuesta interior se establecerá en el Plan de Autoprotección aplicable cumpliendo con los criterios establecidos en el Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes^[7].

El nivel de respuesta exterior se plasmará en los planes especiales de las comunidades autónomas (que incluyen los planes especiales de actuación municipal) y en el Plan Especial Estatal frente a emergencias radiológicas.

Estos planes especiales no tienen un ámbito de aplicación concreto en torno a una instalación o lugar donde se acometen actividades con riesgo radiológico, sino que han de considerarse como planes territoriales con la especificidad de contener medidas para afrontar las emergencias radiológicas que se produzcan en los correspondientes territorios.

A diferencia de lo regulado en el Plan Básico de Emergencia Nuclear, la directriz establece que, en primera instancia, la dirección y la respuesta de este tipo de emergencias caen bajo la responsabilidad de las comunidades autónomas.

El plan estatal establecerá los mecanismos de apoyo a los planes autonómicos, que se activarían cuando la corres-

Tabla 1

Situaciones de Emergencia	Consecuencias producidas o previsibles	Responsabilidad de la toma de decisiones
0	Riesgos en la propia instalación o actividad	Titular de la instalación o actividad
1	Riesgos en la propia instalación o actividad e improbables fuera de la misma	Titular de la instalación y autoridades autonómicas con su Plan Especial Autonómico
2	Riesgos dentro y fuera de la propia instalación o actividad	Autoridades autonómicas apoyadas por el Plan Estatal
3 (Declaración de emergencia de interés general)	Graves riesgos dentro y fuera de la propia instalación o actividad	Autoridades del Estado apoyadas por los Planes Especiales Autonómicos

pondiente autoridad autonómica así lo demandara. Asimismo, el plan estatal establecerá los instrumentos para asumir directamente la dirección y coordinación de la emergencia radiológica cuando la misma se declare de interés nacional (situación 3 de emergencia).

En este último caso, la dirección superior de la emergencia correspondería al ministro del Interior y la dirección operativa en la zona siniestrada correspondería al jefe de la Unidad Militar de Emergencias perteneciente al Ministerio de Defensa.

Los casos más lógicos de declaración de una emergencia radiológica como de interés nacional serían los accidentes producidos en instalaciones, bases o buques militares, los atentados nucleares y radiológicos (“bombas sucias” entre otros), accidentes nucleares o radiológicos ocurridos en el extranjero pero con impacto en una parte o la totalidad del territorio nacional y en otras situaciones excepcionales.

Situaciones de emergencia y notificación

Se establecen cuatro situaciones de emergencia que darían lugar a la activación del

correspondiente plan especial en función de las consecuencias producidas o previsibles y del nivel de responsabilidad en la toma de decisiones (Tabla 1).

El titular de la instalación accidentada deberá notificar al CSN, a la autoridad de protección civil autonómica y a la Subdelegación del Gobierno correspondientes los siguientes datos como mínimo: descripción del suceso, el lugar y la hora de su ocurrencia, identificación de la instalación y, lo que es más importante de cara a la respuesta ante este tipo de emergencias, una evaluación preliminar de los riesgos asociados al accidente en el interior y exterior de la misma.

Criterios radiológicos

Una cuestión primordial de la directriz reside en los aspectos relacionados con los criterios radiológicos que es necesario observar a la hora de la planificación, preparación y respuesta ante una emergencia radiológica. Cabe destacar los siguientes criterios:

— *Medidas de protección a la población y al personal de intervención.* Las medidas de protección urgente (su eficacia depende de la rapidez en su

Tabla 2

	Medidas de protección	Dosis efectiva evitable (mSv)	Dosis equivalente evitable (mSv)
Medidas urgentes	Confinamiento	10 [2 días]	—
	Profilaxis	—	100 [tiroides]
	Evacuación	50 [1 semana]	—
Medidas larga duración	Traslado temporal (albergue)	30 [primer mes] 10 [mes siguiente]	—
	Traslado permanente (realojamiento)	Cuando no se prevea que la dosis acumulada en un mes descienda por debajo de 10 mSv al cabo de 1 ó 2 años ó cuando la dosis proyectada en toda la vida supera 1 Sv.	

adopción) son el control de accesos, el confinamiento, la profilaxis radiológica, la evacuación, la autoprotección personal, la descontaminación y la estabulación de animales.

Las medidas de protección de larga duración (reducen el riesgo de efectos estocásticos y están orientadas a la fase de recuperación) son el control de alimentos y agua, la descontaminación de áreas, el traslado temporal de personas (albergue temporal) y el traslado permanente (realojamiento).

— *Niveles de referencia de dosis para el personal de intervención en emergencias* (se clasifican en tres grupos de intervinientes). El personal de intervención del grupo 1 debe realizar acciones urgentes para salvar vidas, prevenir lesiones graves o evitar dosis considerables al público. Sería personal voluntario (excluidas las mujeres embarazadas) y debidamente informado sobre sus riesgos. Las dosis que podrían recibir superarían los límites de dosis individuales para los trabajadores expuestos pero siempre inferiores a los 500 mSv de dosis efectiva (Recomendación EPR-METHOD 2003)^[8].

El personal de intervención del grupo 2 aplicaría las medidas de protección urgentes. Las dosis que podrían recibir estarían por debajo de los límites de dosis individuales para los trabajadores expuestos para un solo año (<50mSv de dosis efectiva).

El personal de intervención del grupo 3 realizaría las tareas de recuperación una vez finalizada la fase inmediata de la emergencia. Las dosis que podrían recibir estarían por debajo de los límites de dosis individuales para los trabajadores expuestos (<20mSv de dosis efectiva).

— *Niveles de referencia para la aplicación de las medidas de protección a la población* (Tabla 2). El control de accesos siempre está justificado y para esta medida no se establece nivel de intervención.

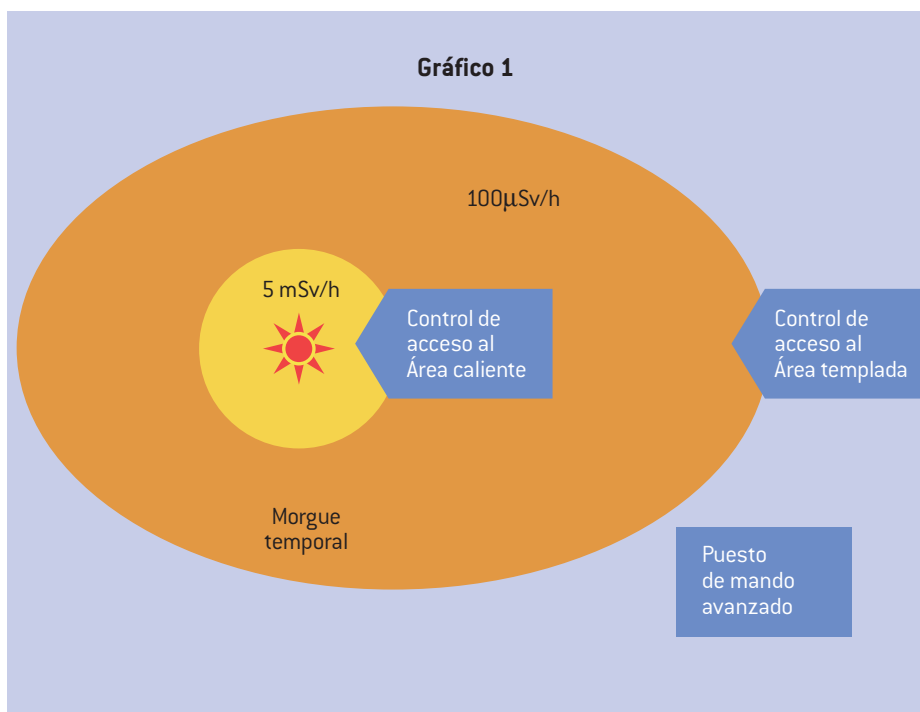
— *Zonas de planificación y actuación de emergencias radiológicas*. En el

caso de disponer de medios de caracterización radiológica se establecerán dos zonas de actuación: zona de aplicación de medidas urgentes que comprenderá el área con una tasa de exposición que supere los 5 mSv/h y una zona de alerta que abarcará el área con una tasa de exposición que supere los 100 μ Sv/h, tal y como se dispone en la figura de más abajo (gráfico 1). En la directriz se establecen unos criterios generales para determinar los límites de las zonas de actuación en recintos cerrados y espacios abiertos, aplicable a los primeros momentos de la emergencia, cuando lo más probable es que no se disponga de la instrumentación y del personal especializado para caracterizar radiológicamente la zona afectada.

Papel del CSN en emergencias radiológicas

Básicamente, la participación del CSN en la gestión de las emergencias radiológicas se orienta al desempeño de cuatro funciones que son coherentes con lo establecido en su Ley de Creación y en la propia directriz.

Gráfico 1



— Asesorar y apoyar técnicamente a las comunidades autónomas y a los órganos competentes del Estado en la preparación y planificación para responder ante este tipo de emergencias (asesorar en la preparación de los planes especiales y colaborar en la formación del personal actuante y en el diseño y ejecución de ejercicios y simulacros).

— Evaluar la situación radiológica producida en caso de emergencia real y su posible evolución, con objeto de recomendar a la dirección de la emergencia las medidas de protección a la población y a los actuantes. Para ello, el CSN dispone de un plan de actuación y de una organización específicos de emergencias, así como de una serie de capacidades técnicas y de infraestructuras idóneas (sala de emergencias, sistemas de comunicaciones, herramientas de simulación y cálculo, redes de detección de radiación, etc.).

— Contribuir a resolver sobre el terreno la emergencia producida, en los aspectos relacionados con la protección radiológica, activando y desplazando a la zona afectada a su unidad de intervención para cooperar con los responsables de la gestión de la emergencia.

— Colaborar en informar a la población sobre las medidas de protección aplicables y sobre el comportamiento a seguir en caso de emergencia radiológica (en cumplimiento del acuerdo del Consejo de Ministros de fecha 1 de octubre de 1999^[9]).

Implantación de la directriz básica

A partir de las funciones descritas en el apartado anterior, el CSN aprobó el 4 de mayo de 2011 el Plan de Acción para la implantación de la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo Radiológico, que recoge 12 medidas, cuya realización abarca un periodo temporal que llega hasta 2013, entre las cuales destacan las siguientes:

— Elaboración y permanente actualización del Catálogo Nacional de Instalaciones o Actividades con Riesgo Radiológico^[10], aprobado el 16 de noviembre de 2011, incluyendo los criterios para su elaboración, que establece tres categorías de instalaciones o actividades en función de su riesgo radiológico asociado: exentas de aplicación de la directriz al no implicar ningún riesgo relevante; no exentas que requieren únicamente un nivel interior de respuesta, junto con unas medidas muy básicas de cara al exterior (control de accesos y posible apoyo al titular por parte de personal de intervención externo); y no exentas que requieren nivel interior y exterior de respuesta. El catálogo ha sido distribuido a la Dirección General de Protección Civil y Emergencias (DGPCE) del Ministerio del Interior y a las comunidades autónomas. Se prevé la posibilidad futura de acceso vía web a este catálogo, para asegurar así una disponibilidad y actualización más sencilla.

— Publicación de una guía técnica^[11] que desarrolle los criterios radiológicos de la directriz que faciliten la elaboración de los planes especiales, los procedimientos que los desarrollen y su implantación. Esta guía ha sido aprobada el 21 de marzo de 2012, desarrollando los siguientes aspectos y teniendo en



Pórtico detector de radiactividad a la entrada de una acera.

cuenta, entre otras, las recomendaciones específicas establecidas por el OIEA^[12]: criterios operativos de respuesta y prioridades de actuación, establecimiento de zonas de actuación en función del tipo de suceso (daño de fuentes, derrames radiactivos, incendios, explosiones, dispositivos de dispersión radiactivos, etc.), criterios de evaluación de posibles personas, áreas y equipos de intervención contaminados, análisis de los riesgos asociados a cada grupo de emergencia radiológica, detalle de los medios y recursos necesarios para hacer frente a este tipo de emergencias, incluyendo las protecciones para el personal de intervención y el equipamiento radiométrico, etc.

— Suscribir convenios de colaboración con todas las comunidades au-



La Sala de emergencias del CSN, que se activa cuando se produce algún incidente radiológico.

tónomas para coordinar las comunicaciones y actuaciones en caso de emergencias radiológicas, apoyar la implantación de la directriz en sus respectivas administraciones, en particular previendo la colaboración del CSN en la elaboración de los planes especiales de riesgos radiológicos, así como en aspectos de formación de personal de intervención y ejercicios.

El 18 de enero de 2012 fue presentado al Pleno del CSN el plan para la articulación de estas colaboraciones. Actualmente el CSN ha suscrito convenios con Cataluña, Extremadura, Castilla y León, y Valencia, estando finalizados a nivel técnico los convenios con Madrid y Castilla-La Mancha, y muy avanzados los firmados con Navarra y el País Vasco.

— Revisar el proceso de notificación de incidentes radiológicos (IS-18^[13], GS-7.10).

— Revisar el Plan de Actuación ante Emergencias del CSN (PAE).

— Impulsar la elaboración de los planes especiales autonómicos y el Plan Estatal colaborando en su redacción y evaluándolos. En el caso de las comunidades autónomas, la firma de convenios está impulsando la elaboración de los planes y para el Plan Estatal se ha formado un grupo de trabajo con la DGPCE para su redacción.

— Reforzar la colaboración de los titulares de las instalaciones y actividades con riesgos radiológicos en la evaluación e implantación de las medidas de protección en el exterior de las mismas.

— Aprobar la Carta de Servicios del CSN^[14] que defina los servicios que el organismo está en disposición de prestar al Sistema Nacional de Protección Civil, y más específicamente los relativos a las emergencias radiológicas. El CSN aprobó dicha carta el 28 de marzo de 2012. ©

Referencias

- [1] Real Decreto 1564/2010, de 19 de noviembre, por el que se aprueba la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo Radiológico.
- [2] Real Decreto 387/1996, de 1 de marzo, por el que se aprueba la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Accidentes en los Transportes de Mercancías Peligrosas por Carretera y Ferrocarril.
- [3] Real Decreto 1546/2004, de 25 de junio, por el que se aprueba el Plan Básico de Emergencia Nuclear, modificado por Real Decreto 1428/2009, de 11 de septiembre.
- [4] IAEA-GS-R-2 “Preparación y respuesta a situaciones de emergencia nuclear y radiológica” (2004).
- [5] Real Decreto 1836/1999, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas.
- [6] Guía de Seguridad 7.10 del CSN *Plan de Emergencia Interior en Instalaciones Radiactivas*.
- [7] Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes.
- [8] IAEA-Tecdoc-953/S “Método para elaborar disposiciones de respuesta a emergencias nucleares o radiológicas (2009).
- [9] Resolución de 20 de octubre de 1999, por la que se dispone la publicación del Acuerdo del Consejo de Ministros de 1 de octubre de 1999 relativo a la información del público sobre medidas de protección sanitaria aplicables y sobre el comportamiento a seguir en caso de emergencia radiológica. (Transpone la Directiva 89/618/Euratom del Consejo de la Unión Europea).
- [10] Catálogo Nacional de Instalaciones y Actividades con Riesgo Radiológico (CSN 2011).
- [11] Guía Técnica del CSN para el desarrollo y la implantación de los criterios radiológicos de la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo Radiológico (CSN 2012).
- [12] IAEA-EPR- Manual de Primeros Actuantes ante Emergencias Radiológicas (2006).
- [13] Instrucción del CSN IS-18, sobre los criterios para la notificación de sucesos e incidentes radiológicos en instalaciones radiactivas.
- [14] Carta de Servicios del CSN relativos a las emergencias nucleares y radiológicas (CSN 2012).

Antonio Colino Martínez, elegido vicepresidente del Consejo de Seguridad Nuclear



Antonio Colino Martínez fue nombrado vicepresidente del Consejo de Seguridad Nuclear el pasado 24 de mayo, en sustitución de Luis Gámir Casares, quien dejó el organismo regulador tras su jubilación el pasado día 8 de mayo.

Fue nombrado consejero del Consejo de Seguridad Nuclear mediante el Real Decreto 1451/2006, el 1 de diciembre de 2006.

Nacido en Madrid en 1946, Antonio Colino es doctor ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). También estudió ingeniería eléctrica nuclear en Estados Unidos, se diplomó en Dirección General de Empresas por la Escuela de Organización Industrial y en Tecnología Energética (UPM). Inició su carrera profesional en 1972 en la empresa estadounidense Bechtel Power

Corporation, donde trabajó en los departamentos de ingeniería y construcción de centrales de generación de energía eléctrica.

En 1975 se incorporó al Grupo Endesa para el desarrollo del proyecto de la central nuclear Vandellós II y posteriormente dirigió los proyectos de Centrales Nucleares Avanzadas. De 1996 a 2004 fue presidente ejecutivo de la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (Enresa). También fue el primer presidente de la Asociación Internacional para la Gestión Medioambiental y Segura de Materiales Radiactivos (EDRAM) y consejero del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat).

Entre los años 1996 y 2006 fue asesor para temas de energía de la Unión Europea y del Organismo Internacional de la Energía Atómica de Naciones Unidas (OIEA).

De 2000 a 2004 promovió, codirigió y finalmente dirigió en solitario el *Diccionario Español de la Energía*. En el año 2004 fue nombrado académico de número de la Real Academia de Ingeniería, donde dirige, desde 2005, la obra *Diccionario Español de la Ingeniería*.

En septiembre de 2011 fue nombrado presidente de CEIDEN, Plataforma Tecnológica de Energía Nuclear de Fisión, que reúne a los principales agentes, tanto públicos como privados, implicados en actividades de investigación científica y tecnológica que se realizan en España en este ámbito.

Ha sido condecorado con la medalla de honor del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, la medalla de oro de la Sociedad Nuclear Española y la Encomienda de Número de la Orden de Isabel la Católica.

Toma posesión de su cargo Fernando Castelló Boronat, nuevo consejero del CSN



Fernando Castelló Boronat tomó posesión como nuevo consejero del Consejo de Seguridad Nuclear en un acto celebrado en el salón de plenos del CSN el pasado 6 de junio, presidido por el ministro de Industria, Energía y Turismo, José Manuel Soria López, y la presidenta del CSN, Carmen Martínez Ten. Estuvieron también presentes el secretario de Estado de Energía, Fernando Martí Scharfhausen, y los miembros del Pleno del CSN.

Licenciado en Ciencias Políticas y Sociología por la Universidad Complutense de Madrid, Fernando Castelló (Castellón, 1958) ha sido concejal del Ayuntamiento de Castellón, diputado en las Cortes Valencianas y consejero sucesivamente de Industria y Comercio; Innovación y Competitividad; e Industria, Comercio y Energía de la Generalitat Valenciana.

En 2003 pasó a ocupar el puesto de secretario de Estado de la Seguridad Social, y entre 2004 y 2008 fue diputado en el Congreso y portavoz de Industria, Energía, Telecomunicaciones y Sociedad

de la Información. En su última etapa antes de llegar al CSN, Castelló presidió el Tribunal de Defensa de la Competencia de la Generalitat Valenciana.

Castelló agradeció al Gobierno su nombramiento, al Parlamento su apoyo y al CSN la acogida dispensada, y se comprometió a trabajar con la eficacia, la transparencia y la independencia que caracterizan al regulador en el cumplimiento de su misión. Entre sus objetivos destacó el velar por la máxima seguridad de trabajadores, instalaciones y medio ambiente para mantener la credibilidad que el organismo ha obtenido tanto en España como en el exterior.

Por su parte, la presidenta del CSN señaló la dilatada trayectoria profesional del nuevo miembro del Consejo, vinculada a los diferentes estamentos de la Administración Pública desde sus inicios y que ha compaginado con importantes tareas en el ámbito de la gestión, y destacó su conocimiento del organismo, adquirido durante su etapa como portavoz en las Cortes. ■

Juan Carlos Lentijo se incorpora al Organismo Internacional de Energía Atómica

Juan Carlos Lentijo, hasta hace unas semanas director técnico de Protección Radiológica del CSN, se incorporó el 11 de junio al Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), para dirigir la división del ciclo de combustible nuclear y de tecnología de residuos.



Lentijo ingresó en el CSN en 1984 y desempeñó, entre otros, los puestos de jefe de Proyecto de Centrales Nucleares, inspector residente, subdirector general de Emergencias, posteriormente de Protección Radiológica Ambiental y, desde febrero de 2003, director técnico de Protección Radiológica. Ha representado al CSN en diversos grupos y comités nacionales e internacionales relacionados con la protección radiológica, la gestión de emergencias o la epidemiología de las radiaciones. Tras el accidente de Fukushima, participó por encargo del OIEA en las dos misiones internacionales desplegadas en Japón para analizar la crisis nuclear vivida tras el terremoto y el posterior tsunami. En la segunda, fue el máximo responsable del equipo que el OIEA envió, en respuesta a la solicitud del Gobierno nipón, con el objetivo de analizar los trabajos de recuperación de las zonas afectadas. ■

Córdoba acogió la novena reunión de las autoridades europeas de protección radiológica

La Asociación Europea de Autoridades de Protección Radiológica (HERCA) celebró, en Córdoba el 31 de mayo, la novena reunión de su Comité de Dirección, encabezado por su presidente, Sigudur Magnússon. El encuentro contó con la presencia del Pleno del CSN y la participación de los consejeros Rosario Velasco y Antoni Gurguí, y el director técnico de Protección Radiológica,

Juan Carlos Lentijo. Además, se visitaron las instalaciones de El Cabril, donde se gestionan los residuos de media, baja y muy baja actividad en España.

En la cita se analizó la evolución de los cuatro grupos de trabajo que componen HERCA, en todos los cuales el CSN estuvo representado activamente, dedicados a preparación ante emergencias, aplicaciones médicas, trabajadores externos expuestos y armonización en la aplicación de las normas de seguridad referidas a las fuentes radiactivas en la industria. HERCA está compuesto por 49 expertos procedentes de 31 países europeos (incluyendo los 27 de la Unión Europea) y cuenta con la participación de la Comisión Europea como observador.



Detectada una fuente huérfana de cesio-137 en una acería

El pasado 9 de mayo la instalación Siderúrgica Sevillana S.A. (Alcalá de Guadaira, Sevilla) detectó la presencia de un alto nivel de radiactividad cuando un camión cargado de chatarra procedente de Kenitra (Marruecos) traspasó su pórtico de entrada, procediendo a informar al CSN e inmovilizar el camión en un lugar aislado del paso de personas. La Unidad Técnica de Protección Radiológica de Proinsa se desplazó al lugar y localizó un dispositivo de unos 20 kilos para el control de procesos industriales en mal estado, en cuyo

interior había una fuente radiactiva de cesio-137 con una actividad estimada de 100 gigabecquerelios.

Tras recibir y evaluar el informe de caracterización preceptivo el pasado 28 de mayo, el CSN determinó que el suceso es de nivel 2 (correspondiente a “incidente”) en la Escala Internacional de Sucesos Nucleares y Radiológicos (INES), y procedió a comunicarlo al Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Este incidente no ha tenido ninguna repercusión para los trabajadores de la instalación, para el público ni para el medio ambiente.

Conferencia del teniente general jefe de la UME en la sede del CSN



El teniente general jefe de la Unidad Militar de Emergencias (UME), José Emilio Roldán Pascual, ofreció el 25 de mayo en el Consejo de Seguridad Nuclear una conferencia sobre la aportación de esta unidad a la estrategia española de seguridad, aprobada por el Consejo de Ministros en junio de 2011. Roldán defendió la necesidad de una estrategia de estas características, ya que los cambios experimentados por el mundo requerían un nuevo modelo de seguridad que superara el concepto de defensa nacional. Según dijo, en

ella se plantean, de manera global y transversal, los riesgos a los que la población se enfrenta, evalúa las posibilidades de respuesta y las aplica con el objetivo de garantizar la defensa de los intereses vitales (garantía de derechos fundamentales de los ciudadanos), y estratégicos (referidos a la garantía de un entorno pacífico y seguro). La estrategia española de seguridad está basada en la europea, que se aprobó en el año 2003, pero incorpora tres nuevas ideas: las migraciones, las finanzas y los riesgos nacionales. ▶

WENRA analiza en Zúrich el avance de las pruebas de resistencia

Los 17 miembros de la Asociación de Autoridades Reguladoras de Seguridad Nuclear de Europa Occidental (WENRA) se reunieron los días 20 y 21 de marzo en Zúrich (Suiza) para revisar el progreso de los diferentes grupos de trabajo que lo conforman y tomar decisiones en relación a las futuras actividades. Estos grupos trabajan en cuestiones como la armonización de los requisitos de seguridad nuclear de los

reactores, la gestión segura de residuos radiactivos y desmantelamiento, y la armonización de prácticas de inspección. En representación del CSN asistió a la reunión una delegación encabezada por el consejero Antoni Gurgu, quien además es vicepresidente del plenario encargado de coordinar las revisiones inter pares (*peer reviews*) realizadas en el marco de las pruebas de resistencia a las centrales nucleares europeas. ▶

IV Reunión de la Convención Conjunta sobre Gestión de Combustible Gastado y de Residuos

La sede del Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA) en Viena fue el escenario en el que se celebró, durante el mes de mayo, la IV Reunión de la Convención Conjunta sobre Seguridad en la Gestión del Combustible Gastado y sobre Seguridad en la Gestión de Residuos Radiactivos. Durante la reunión, España presentó un informe con las actividades llevadas a cabo en el cumplimiento de las obligaciones de dicha convención y los compromisos adquiridos desde la reunión anterior, además de las acciones de cooperación internacional tras el accidente de Fukushima.

El informe español fue elaborado por el Consejo de Seguridad Nuclear, el Ministerio de Industria, Energía y Turismo y la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (Enresa). Por parte del CSN, la delegación española contaba con la presencia de su vicepresidente, Antonio Colino, la directora técnica de Seguridad Nuclear, Isabel Mellado, y la subdirectora de Protección Radiológica Ambiental, Lucila Ramos. Les acompañaban la embajadora permanente de España ante los Organismos Internacionales con sede en Viena, Carmen Buján y el subdirector general de Energía Nuclear del Ministerio de Industria, Energía y Turismo, Javier Arana. ▶

VII Jornadas sobre Calidad en el Control de la Radiactividad Ambiental

Desde Fukushima a la propia gestión de la calidad pasando por la normativa aplicable o los distintos procedimientos y aspectos técnicos especialmente relevantes: todo ello se trató durante las jornadas que tuvieron lugar en el Palau Firal i de Congressos de Tarragona entre el 30 de mayo y el 1 junio y que fueron inauguradas por el vicepresidente del Consejo de Seguridad Nuclear, Antonio Colino, y clausuradas por la consejera Rosario Velasco.



En su intervención durante la jornada inaugural, Antonio Colino destacó que esta cita quería abarcar todos los ámbitos del conocimiento relacionados con el control de la radiactividad ambiental, conseguir los mejores estándares de calidad y mantener una dinámica de mejora permanente. Las jornadas dedicaron un apartado especial al accidente nuclear de Fukushima [Japón]. A este respecto Colino recordó que, tras el mismo, el CSN puso en marcha un dispositivo especial para el seguimiento, a través de los valores proporcionados por las redes de vigilancia radiológica ambiental de nuestro país, de la contaminación radiactiva liberada al medio ambiente durante el suceso. ■

Trigésima reunión de la Asociación Internacional de Reguladores Nucleares



La presidenta del Consejo de Seguridad Nuclear, Carmen Martínez Ten, asistió a la trigésima reunión de la Asociación Internacional de Reguladores Nucleares (INRA), celebrada en Ottawa (Canadá) entre los días 16 y el 18 de abril. El encuentro permitió a los representantes de los organismos reguladores de los nueve países miembros — un grupo conocido como “el G-9 de la seguridad nuclear” y formado por Alemania, Canadá, Corea del Sur, España, Estados Unidos, Francia, Japón, Reino Unido y Suecia— intercambiar información sobre las actuaciones reguladoras llevadas a cabo en los distintos países tras el accidente de Fukushima (Japón).

Durante la ronda de informes nacionales realizada para actualizar la información de cada uno de los países desde la última reunión, Martínez Ten compartió con sus homólogos los principales trabajos del organismo que preside. La presidenta destacó las pruebas de resistencia realizadas a los reactores nucleares españoles durante el pasado año, la culminación del proceso de se-

lección por parte del Gobierno del emplazamiento del Almacén Temporal Centralizado (ATC) de combustible gastado y residuos de alta actividad, así como la posible revisión de la licencia de explotación de la central nuclear de Santa María de Garoña (Burgos), anunciada por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo. También se refirió a la importancia de los aspectos relacionados con la comunicación para los organismos reguladores, tanto dentro de cada país como a nivel internacional. Para subrayar la preocupación del CSN por este tema recordó la celebración en Madrid, en el mes de mayo, de un *workshop* organizado conjuntamente con la Agencia de Energía Nuclear de la OCDE dedicado específicamente a la comunicación de crisis.

En la reunión, los representantes de los países miembros de INRA abordaron los nuevos retos a los que se enfrentan los organismos reguladores, señalando la importancia de reforzar la cooperación internacional tras el accidente de Fukushima. ■

Miembros del CSN asisten en Washington a la XXIV Conferencia Informativa Reguladora (RIC)

A mediados de marzo se celebró en Washington la Conferencia Informativa Reguladora (más conocida como RIC, por sus siglas en inglés) una cita a la que asistieron unos 3.300 participantes procedentes de 35 países. Por parte española acudió una delegación del Consejo de Seguridad Nuclear, encabezada por su vicepresidente, Antonio Colino, y la consejera Rosario Velasco.

Se trata de la vigesimocuarta edición de este encuentro internacional de creciente prestigio, en el que se combinan sesiones técnicas y presentaciones sobre temas de actualidad para el ámbito regulador, la Administración y la industria. Lo organiza anualmente la Nuclear Regulatory Commission (NRC), cuyo presidente en ese momento, Gregory B. Jaczko, abrió el encuen-



tro señalando como el principal reto la necesidad de ser proactivos a la hora de identificar riesgos imprevistos.

Las sesiones técnicas de las dos jornadas abordaron cuestiones como la preparación ante emergencias, la puesta en marcha del plan de acción del Organismo Internacional de Energía Atómica, la investigación internacional tras el accidente de la central nuclear de Fukushima (Japón), las lecciones aprendidas en sucesos externos (terremotos, huracanes e inundaciones), y las relativas al diseño y al análisis de estructuras de los nuevos reactores.

Presentación del Protocolo Español de Control de Calidad en Radiodiagnóstico

El 21 de marzo se celebró en la sede del Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad una jornada de presentación del Protocolo Español de Control de Calidad en Radiodiagnóstico, organizada por las Sociedades Españolas de Protección Radiológica (SEPR), Física Médica (SEFM) y de Radiología Médica (SERAM). En la inauguración de la jornada participó la presidenta del Consejo de Seguridad Nuclear, Carmen Martínez Ten, junto a los responsables de las sociedades convocantes, María Luisa España (SEPR), Juan José Peña (SEFM) y Eduardo Fraile (SERAM), así como la directora general de Salud Pública, Calidad e Innovación, María Mercedes Vinuesa.

Martínez Ten recordó que uno de los ejes del Plan Estratégico 2011-2016 del CSN es la protección radiológica de las personas que se someten a procedimientos



de diagnóstico o tratamiento médicos y que en ese ámbito firmó en 2010 un convenio de colaboración con el Ministerio de Sanidad relativo a la coordinación y cumplimiento de sus competencias en las áreas de prevención de las exposiciones, calidad en los procedimientos con uso de radiaciones, emergencias, investigación, desarrollo e innovación y en las materias de protección del paciente.

Principales acuerdos del Pleno

■ Instrucciones Técnicas Complementarias de las pruebas de resistencia a las centrales nucleares

El Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) aprobó por unanimidad el pasado 14 de marzo las Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC) correspondientes a las pruebas de resistencia a las centrales nucleares españolas llevadas a cabo tras el accidente de Fukushima.

El pasado 21 de diciembre, el Pleno aprobó el informe final sobre las pruebas de resistencia que fue remitido a la Comisión Europea. En este informe se concluía que las centrales nucleares españolas disponen de márgenes que aseguran el mantenimiento de las condiciones de seguridad en las plantas, si bien se identificaron áreas de mejora para hacer frente a situaciones catastróficas más allá de las bases de diseño.

Cada una de las instalaciones ha recibido una ITC adecuada a las conclusiones reflejadas en el informe final de las pruebas de resistencia. En términos generales se requiere a los titulares la presentación al CSN, a corto plazo, de un plan de acción que detalle todas las mejoras a incorporar; se establece la programación de los plazos de implantación de las mismas, contemplando actuaciones a corto plazo (hasta finales de 2012), medio plazo (finales de 2014) y largo plazo (finales de 2016); y se solicita que todo el proceso esté adecuadamente sujeto a procedimiento, que esté prevista la formación y entrenamiento del personal y una vigilancia específica de los nuevos equipos a instalar, poniendo un especial énfasis en asegurar que el uso de los mismos se pueda realizar de modo rápido y eficiente en condiciones reales de emergencia.

■ Plan de I+D del CSN para el periodo 2012-2015

En su reunión del 28 de marzo, el Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear aprobó por unanimidad el Plan de I+D del CSN para el periodo 2012-2015; cuyos objetivos son contribuir a asegurar un alto nivel de seguridad nuclear y protección radiológica en las instalaciones nucleares y radiactivas existentes en España, hasta que alcancen el final de su vida; mejorar la vigilancia y el control de la exposición de los trabajadores y del público a las radiaciones ionizantes; avanzar en el desarrollo de la protección radio-

lógica en las exposiciones médicas; y disponer, en el momento temporal oportuno, de los conocimientos y medios técnicos necesarios para apreciar los riesgos asociados a instalaciones futuras, así como al funcionamiento de las existentes en condiciones de operación modificadas.

La elaboración del Plan se ha realizado tomando como referencia el análisis del desarrollo y resultados del anterior Plan de I+D, vigente entre 2008 y 2011, además de los programas de I+D de otras organizaciones y las actividades derivadas del accidente de Fukushima. Las líneas de investigación que el plan contempla como estratégicas son las siguientes:

- Operación y gestión del combustible nuclear.
- Comportamiento de materiales y gestión de vida.
- Desarrollo de códigos y modelación.
- Metodologías de análisis de seguridad.
- Sucesos internos y externos.
- Accidentes severos.
- Residuos radiactivos.
- Control de la exposición a la radiación y protección del medio ambiente.
- Dosimetría y radiobiología.
- Protección radiológica del paciente.
- Gestión de emergencias.
- Seguridad física.

■ Informe nacional para la segunda reunión extraordinaria de la Convención sobre Seguridad Nuclear

El pasado 11 de abril, el Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear aprobó por unanimidad el *Informe nacional para la reunión segunda extraordinaria de la Convención sobre Seguridad Nuclear* que se celebrará en la sede del OIEA en Viena en el mes de agosto de 2012.

Le reunión tiene como objetivos fundamentales la revisión de las actuaciones llevadas a cabo por las partes contratantes tras el accidente en la central nuclear de Fukushima, esencialmente las pruebas de resistencia en las centrales nucleares, y la realización de un debate sobre la efectividad de la convención a la luz de las acciones aprendidas tras este accidente.

En lo que se refiere al primer objetivo, el informe contempla los aspectos siguientes:

- Sucesos externos.
- Aspectos de diseño.
- Gestión de accidentes severos en el reactor.

- Organizaciones nacionales.
- Preparación y respuesta en emergencias, y gestión de acciones post accidente (*off site*).

■ **Instalación de un miniparque eólico en aguas próximas a Vandellós II**

El Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear, en su reunión del 20 de abril estudió y acordó por unanimidad informar favorablemente la instalación de un miniparque eólico en aguas marinas próximas a la central nuclear Vandellós II, con las siguientes condiciones:

- Debe asegurarse que el miniparque eólico y su sistema de evacuación de energía se encuentran fuera de la zona bajo control del explotador de la central nuclear Vandellós II (850 metros alrededor de la central, medidos desde el centro geométrico del edificio de contención).
- El estudio del proyecto incluirá un capítulo de evaluación de seguridad en el que se hagan constar los análisis de los riesgos potenciales derivados de su funcionamiento y de su posible influencia en la seguridad y funcionamiento normal de la central nuclear Vandellós II, con el contenido mínimo que se establece.
- Deberá realizarse un análisis de posibles interferencias con eventuales sistemas de protección física en relación con incursiones en el espacio aéreo de la central nuclear Vandellós II.
- Los resultados de los estudios exigidos deberán ser remitidos al CSN.

El proyecto Zefir, que se desarrollará en dos fases (IA y IB), está promovido por la Fundació Institut de Recerca en Energia de Catalunya, con sede en la población de Sant Adrià de Besòs (Barcelona) y consistirá en un miniparque eólico en aguas marinas de los términos municipales de Vandellós y Hospitalet de L'Infant.

El informe aprobado responde a lo establecido en el artículo 3 bis del Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas (RINR), por el que se requiere a las administraciones competentes para la concesión de autorización de una instalación o actividad, que por sus características o situación pudieran suponer un impacto sobre una instalación nuclear o radiactiva de primera categoría, para que con carácter previo a la emisión de dicha autorización den traslado al Consejo de Seguridad Nuclear

del informe de seguridad o información suficiente sobre la cuestión, a fin de que éste emita informe preceptivo y vinculante.

■ **Recomendaciones del Comité Asesor para la Información y la Participación Pública**

El Pleno del Consejo analizó, el 29 de mayo, las tres recomendaciones realizadas por el Comité Asesor para la Información y Participación Pública del CSN, realizadas en su reunión de 23 de mayo de 2012, y aprobó por unanimidad su adopción, encargando a la Secretaría General la presentación al Pleno de un programa de implementación de las mismas.

La primera de estas recomendaciones dice que dada “la preocupación social por el problema de la contaminación de Palomares y la necesidad de finalizar cuanto antes las tareas pendientes del Plan de Rehabilitación, para poder dar por zanjado un problema de contaminación originado hace más de 40 años, se lleven a cabo las acciones de comunicación necesarias para informar a los ciudadanos de la situación de la zona y de los avances del Plan para la solución del problema. Asimismo, solicita que se edite una publicación monográfica divulgativa sobre las consecuencias reales del accidente de Palomares que contribuya a evitar la escasez de información disponible para la población en general sobre este tema. Esta publicación sería la primera de una colección de acciones comunicativas sobre temas de interés para la ciudadanía en el ámbito nuclear y radiológico”.

La segunda recomendación sugiere al CSN que “realice el mayor esfuerzo por conseguir la máxima transparencia en la información y comunicación a la población sobre el proceso de revisión en curso de los Planes de Emergencia Nuclear (PEN) como consecuencia del accidente de Fukushima. En general se deberá dar una especial consideración a la transmisión de la información a la población de las zonas próximas a las centrales nucleares, de manera que aumente el conocimiento sobre los PEN a nivel local”.

La tercera recomendación insta al Consejo a “la celebración de una conferencia pública para presentar los resultados finales del informe de las pruebas de resistencia a las centrales nucleares españolas. En este contexto deberán tenerse en cuenta, entre otras cosas, los mecanismos que permitan un seguimiento posterior por la opinión pública”.



Información correspondiente al
I trimestre de 2012

STOCKXCHNG



Centrales nucleares

Almaraz I y II

Número de sucesos (nivel INES)

— 2 (INES 0)

Paradas no programadas

— 0

Número de inspecciones del CSN

— 6

Comentario de actividades

— Ambas unidades permanecieron al 100% de potencia nuclear, sin incidencias.

Ascó I y II

Número de sucesos

— 2 Ascó I y 4 Ascó II (INES 0)

Paradas no programadas

— 1 Ascó II

Número de inspecciones del CSN

— 4

Comentario de actividades

— La central se mantuvo funcionando de manera estable.

— Apreciación favorable de la transición a la norma NFPA 805 sobre protección contra incendios.

Cofrentes

Número de sucesos

— 0

Paradas no programadas

— 0

Número de inspecciones del CSN

— 3

Comentario de actividades

— La central se mantuvo funcionando de manera estable.

— El Pleno del CSN informó favorablemente la revisión 5 del Plan de Gestión de Residuos Radiactivos y Combustible Gastado y la revisión 18 del Reglamento de Funcionamiento de la central, así como la propuesta de modificación de diseño de aumento de quemado máximo de la pastilla de combustible tipo GNF2 hasta 70Mwd/kgU.

Santa María de Garoña

Número de sucesos

— 1 (INES 0)

Paradas no programadas

— 1 (26/03/12)

Número de inspecciones del CSN

— 3

Comentario de actividades

— El 26 de marzo se redujo potencia hasta el 65% para el cambio de secuencia de barras de control, pruebas y trabajos de mantenimiento, reiniciando el arranque el día 28. El 31 de marzo se hicieron dos reducciones de potencia hasta el 97% para llevar a cabo ajustes del modelo de barras de control.

Trillo

Número de sucesos

— 0

Paradas no programadas

— 0

Número de inspecciones del CSN

— 4

Comentario de actividades

— La central se mantuvo funcionando de manera estable.

— El CSN ha continuado con las actividades de inspección y control, ha informado favorablemente sobre propuestas de cambios de ETF relacionadas con modificaciones de diseño de la recarga de combustible.

Vandellós II

Número de sucesos

— 2 (INES 0)

Paradas no programadas

— 1 (21 de febrero de 2012)

Número de inspecciones del CSN

— 3

Comentario de actividades

— Salvo la parada indicada, la central se mantuvo en operación a plena potencia, sin incidencias significativas.

Instalaciones del ciclo y en desmantelamiento

Ciemat

Actividades Pimic-Rehabilitación

— Las más relevantes durante este periodo fueron la realización de una campaña de muestreo de aguas subterráneas y la descontaminación del hueco de los pocillos de la In-04, antigua instalación de Celdas Calientes Metalúrgicas.

Actividades Pimic-Desmantelamiento

— Se rellenó el hueco restaurado de “La Lenteja” y se inició la descontaminación de los terrenos de “El Montecillo”. En la antigua nave del reactor se almacenan transitoriamente tierras de esta zona.

— Se continúa demoliendo las losas de hormigón y extrayendo las tierras impactadas del interior de la planta M-1.

Número de inspecciones del CSN

— 2

Centro Medioambiental de Saelices

El Chico (Salamanca)

Actividades Planta Quercus

— Enusa presentó una revisión de la documentación de licencia asociada a la instalación que está siendo evaluada. La revisión 7 del Estudio de Seguridad, la revisión 9 del Documento Verificación de la instalación / Especificaciones de Funcionamiento, la revisión 8 del Plan de Emergencia Interior y la revisión 6 del Programa de Garantía de Calidad.

Actividades Planta Elefante

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

Actividades otras instalaciones mineras:

— La empresa Berkeley Minera España continuó con sus trabajos de investigación minera en Salamanca, presentando los planes de labores y el avance de los in-

formes sobre el cumplimiento de los criterios radiológicos aplicables.

Fábrica de Uranio de Andújar

Actividades

— El emplazamiento sigue bajo control, sin incidencias, en periodo de cumplimiento. La propuesta de Enresa de revisión 4 del Plan de Vigilancia y Mantenimiento del emplazamiento se ha considerado aceptable.

Número de inspecciones del CSN

— 0

El Cabril (Córdoba)

Actividades

— La instalación sigue bajo control, sin incidencias significativas. Se realizaron las operaciones habituales de gestión definitiva de residuos radiactivos de baja, media y muy baja actividad. Se ha informado favorablemente la revisión 6 del Reglamento de Funcionamiento.

Número de sucesos

— 0

Número de inspecciones del CSN

— 3

Vandellós I (Tarragona)

Actividades

— La instalación sigue bajo control, sin incidencias significativas y en periodo de latencia.

Número de inspecciones del CSN

— 0

José Cabrera (Guadalajara)

Actividades

— Continuaron las actividades preparatorias de adaptación de los sistemas e instalaciones auxiliares de la instalación a las necesidades del desmantelamiento y se iniciaron los trabajos de desmontaje de componentes y elementos radiológicos. En marzo, Enresa realizó ante el CSN las pruebas funcionales de puesta en marcha del edificio auxiliar de desmantelamiento.

Número de inspecciones del CSN

— 5

Juzbado (Salamanca)

Actividades

— El 29 de febrero, el CSN acordó informar favorablemente la modificación de



Torres de refrigeración de la central nuclear José Cabrera.

ENRESA

diseño del sistema de medida de actividad ambiental del Sistema de Protección Radiológica, así como de las Especificaciones de Funcionamiento y el Estudio de Seguridad asociados.

— El 21 de marzo el CSN acordó informar favorablemente la propuesta de servicios mínimos en la fábrica para la huelga general del 29 de marzo.

Número de inspecciones del CSN

— 1

Instalaciones radiactivas

Resoluciones adoptadas sobre instalaciones radiactivas (científicas, médicas, agrícolas, comerciales e industriales)

Informes para autorización de nuevas instalaciones

— 17

Informes para autorizaciones de modificación de instalaciones

— 58

Informes para declaración de clausura

— 24

Informes para autorización de servicios de protección radiológica

— 2

Informes para autorización de unidades técnicas de protección radiológica

— 3

Informes para autorización de servicios de dosimetría personal

— 1

Informes para autorización de retirada de material radiactivo no autorizado

— 6

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

— 5

Informes para autorización de otras actividades reguladas

— 6

Informes relativos a la aprobación de tipo de aparatos radiactivos

— 8

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

— 21

Acciones coercitivas adoptadas sobre instalaciones radiactivas (científicas, médicas, agrícolas, comerciales e industriales)

Apercibimientos a instalaciones radiactivas industriales

— 8

Apercibimientos a instalaciones radiactivas de investigación o docencia

— 0

Apercibimientos a instalaciones radiactivas médicas

— 0

Apercibimientos a unidades técnicas de protección radiológica

— 1

Apercibimientos a servicios de protección radiológica

— 1

Apercibimientos a instalaciones de rayos X médicos

— 5

Seguridad física

Actividades más relevantes

— Continuación de los trabajos relacionados con el área estratégica de Seguridad Física del SISC.

— Participación en diferentes actividades de la Iniciativa Global contra el Terrorismo Nuclear.

Cursos

— Instructores en el curso sobre protección física de fuentes radiactivas organizado por el OIEA.

— Asistentes al curso Dry Run, organizado por el OIEA y Sandia National Laboratories.

— Curso sobre detección y respuesta ante amenazas con artefactos explosivos. Unidad Central TEDAX – NRBQ del Cuerpo Nacional de Policía.

— Impartición de la asignatura sobre protección física de instalaciones y materiales nucleares en el Máster de Ingeniería Nuclear (Ciemat-Universidad Politécnica de Madrid).

Número de simulacros

— 6 ejercicios tácticos contra intrusión en centrales nucleares de potencia.

Número de inspecciones

— 2 (Almaraz y Trillo)

Actividades internacionales

— Participación en el equipo de expertos de la Misión IPPAS Follow UP a Holanda.

— Participación en la reunión intermedia del Grupo de Implantación y Evaluación de la Iniciativa Global contra el terrorismo nuclear en Marrakech.

Notificación de sucesos

Número de incidentes en instalaciones nucleares en una hora

— 6

Número de incidentes en instalaciones nucleares en 24 horas

— 12, de ellos 6 corresponden a ampliación de la información en sucesos de una hora.

Número de incidentes radiológicos

— 4

Emergencias

Activación de la ORE

— Durante este periodo no se ha activado la ORE.

Otras actividades relevantes

— Durante los días 5, 6 y 7 de marzo tuvo lugar el ejercicio de emergencia de interés nacional GAMMA “Cogolludo 2012”, dirigido por la UME, en el que se simuló una emergencia de nivel 3, relacionada con actividad sísmica, contaminación química y radiológica e inundaciones.

[WWW.CSN.ES](http://www.csn.es)

Los días 9 y 10 de mayo de 2012, el CSN y la Agencia de Energía Nuclear de la OCDE (NEA) organizaron un seminario internacional bajo el título **Crisis Communication: Facing the Challenges**. Toda la información sobre el evento, incluidas las grabaciones de todas las ponencias, puede verse en: http://www.csn.es/index.php?option=com_content&view=article&id=20643&Itemid=791&lang=es ▶



Canal Saber es una sección de la web del CSN destinada a explicar de forma amena y divulgativa la ciencia y la tecnología relacionadas con la actividad del organismo. Por ejemplo, puede conocer el funcionamiento de una central nuclear mediante una infografía animada en: http://www.csn.es/index.php?option=com_content&view=article&id=10829%3Acentrales-nucleares&catid=46%3Ainfografias&Itemid=62&lang=es ▶



Puede conocer los resultados más recientes del **Sistema Integrado de Supervisión de Centrales (SISC)** en: <http://www.csn.es/sisc/index.do> ▶



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



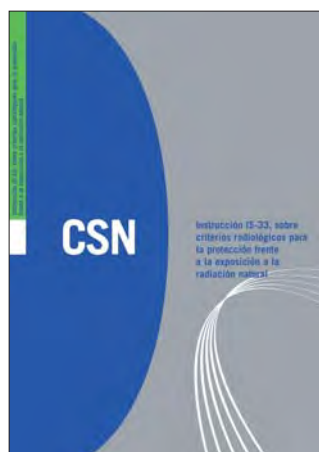
Puede acceder a los anteriores números de **Alfa, revista de seguridad nuclear y protección radiológica** en: http://www.csn.es/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=72&Itemid=157&lang=es ▶



PUBLICACIONES



Programas de vigilancia radiológica ambiental, Resultados 2010



Instrucción IS-33,
sobre criterios radiológicos
para la protección frente
a la exposición a la radiación
natural



Instrucción IS-34,
sobre diversos criterios a
aplicar a actividades
relacionadas con el transporte
de materiales radiactivos



Guía de Seguridad 11.2
Control de la exposición a
fuentes naturales de
radiación



**Manual de comunicación de crisis
para las organizaciones
reguladoras nucleares**
Aspectos nacionales



**Road Map for Crisis Communication
of Nuclear Regulatory
Organisations**
National aspects

alFa Revista de seguridad nuclear y protección radiológica

Boletín de suscripción

Institución/Empresa

Nombre

Dirección

CP

Localidad

Provincia

Tel.

Fax

Correo electrónico

Fecha

Firma

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

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

Pedro Justo Dorado Dellmans 11
28040 Madrid (España)
www.csn.es

