

CSN

# ALFA

Revista de  
seguridad nuclear  
y protección  
radiológica  
Consejo de Seguridad  
Nuclear  
Número 22  
III trimestre 2013



## Reciclado metálico sin sorpresas

Entrevista a Rosario Velasco,  
vicepresidenta del Consejo de  
Seguridad Nuclear

El primer modelo atómico  
cuántico de Niels Bohr  
cumple 100 años

Tecnología nuclear española:  
Ciemat, el *alma mater* de  
los nucleares españoles

# ALFa

Revista de seguridad nuclear y protección radiológica

Editada por el CSN

**Número 22 / III trimestre 2013**

## **Comité Editorial**

Fernando Marti Scharfhausen

Antonio Munuera Bassols

Fernanda Sánchez Ojanguren

Enrique García Fresneda

Ángel Laso D'lom

Manuel Toharia Cortés

Ignacio Fernández Bayo

## **Comité de Redacción**

Ángel Laso D'lom

Concepción Muro de Zaro

Natalia Muñoz Martínez

Antonio Gea Malpica

Manuel Aparicio Peña

Ignacio Fernández Bayo

## **Edición y distribución**

Consejo de Seguridad Nuclear

Pedro Justo Dorado Dellmans, 11

28040 Madrid

Fax 91 346 05 58

peticiones@csn.es

www.csn.es

## **Coordinación editorial**

Divulga S.L.

Diana, 16 - 1º C

28022 Madrid

## **Fotografías**

CSN, Divulga, Javier Fernández, iStockphoto  
y Depositphotos

## **Impresión**

Estugraf Impresores S.L.

Pol. Ind. Los Huertecillos, Nave 13

28350 Ciempozuelos (Madrid)

Depósito legal: M-24946-2012

ISSN-1888-8925

© Consejo de Seguridad Nuclear

## **Fotografía de portada**

Depositphotos

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

# Nuevos aires para *Alfa*

En su deseo de aproximarse cada vez más al público general, la revista *Alfa*, editada por el Consejo de Seguridad Nuclear, adopta a partir de este número un aire más fresco y menos institucional, con un diseño más flexible y dinámico, con más contenidos y nuevas secciones. Pretendemos así cumplir, de manera activa, el mandato de transparencia e información a la ciudadanía que la normativa que regula su actividad impone al CSN. Los objetivos son conseguir aumentar la difusión y suscitar mayor interés en los lectores, mostrar el amplio y variado panorama en el que las radiaciones ionizantes se encuentran presentes y reivindicar el trabajo de permanente vigilancia que el Consejo realiza para que esa presencia sea suficientemente segura.

De hecho, es difícil imaginar hasta qué punto las radiaciones están presentes en nuestra vida cotidiana. No solo porque vivimos inmersos en radiaciones de origen natural sino también porque muchas actividades que se llevan a cabo en las instalaciones industriales aprovechan las características y efectos de las radiaciones ionizantes en todo tipo de procesos. Con ellas se pueden medir parámetros de interés, como espesor, densidad, nivel y composición de productos durante su manufacturación o envasado, se pueden detectar defectos internos en materiales estructurales, se pueden

realizar mediciones de densidad y humedad en suelos, y se pueden esterilizar y conservar alimentos y aparatos quirúrgicos, entre otras muchas aplicaciones.

Cada una de estas actividades exige determinadas condiciones de utilización para garantizar la seguridad de los trabajadores, el medio ambiente y la población general; y el Consejo de Seguridad Nuclear es el responsable de llevar a

*El objetivo es aumentar la difusión y el interés de los lectores, mostrando el variado panorama en el que las radiaciones ionizantes están presentes*

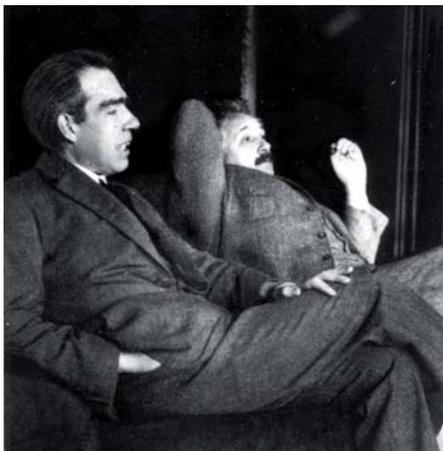
cabo el debido control para que dichos requisitos se cumplan estrictamente. Aunque consideradas individualmente son actividades de muy bajo riesgo, en conjunto, estas instalaciones suponen una importante actividad para el CSN dado que su número es elevado y crece continuamente. Acorde con dicha importancia, *Alfa* recoge en este número un extenso artículo dedicado a explicar los usos industriales de las radiaciones y

la normativa y control que les afectan. El artículo se complementa con el resumen gráfico incluido en las páginas de la sección Radiografía.

La entrevista en esta ocasión trae a nuestras páginas a la vicepresidenta del Consejo, Rosario Velasco, que nos habla de los retos que tiene planteados el organismo regulador actualmente y los medios con los que se están enfrentando a ellos. La sección Tecnología Nuclear Española nos sumerge en la actividad que se lleva a cabo en el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas en el ámbito de la fisión nuclear.

Otro reportaje nos permite conmemorar el centenario del modelo atómico de Niels Bohr: el primero que tenía en cuenta las implicaciones de la entonces naciente física cuántica. También ofrecemos la posibilidad de contemplar imágenes obtenidas por resonancia magnética nuclear funcional y de conocer la actividad del cerebro en diez procesos diferentes. Junto a ello, un reportaje sobre el protocolo español de control de fuentes inadvertidas en el material metálico destinado al reciclado en acerías; otro sobre la arquitectura bioclimática y otro sobre los telómeros: las estructuras situadas en los extremos de los cromosomas, que pueden albergar la clave de la lucha contra el cáncer y el envejecimiento. ©

## REPORTAJES



### 4 El átomo de Bohr cumple 100 años

Uno de los primeros y más destacados padres de la mecánica cuántica, que intenta explicar el funcionamiento del universo en su nivel más ínfimo, el de las partículas y las fuerzas de interacción entre ellas, fue Niels Bohr, el físico danés quien propuso el primer modelo cuántico del átomo, hace ahora exactamente 100 años

### 9 La puerta a la eterna juventud

Los científicos se proponen abrir la puerta hacia una vida más larga, sin vejez y sin cáncer. La clave se encuentra en los telómeros, los extremos de los cromosomas, que son una especie de reloj celular. Cuando son demasiado cortos la célula envejece y deja de reproducirse. Para repararlos, el organismo dispone de la telomerasa, una enzima que los recompone.

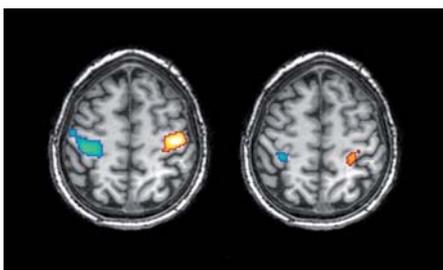


### 14 Hacia una arquitectura sostenible

La arquitectura empieza a tener en cuenta los principios de sostenibilidad que invaden todo tipo de actividades. Ciertas consideraciones bioclimáticas, como la orientación o el asilamiento térmico, podrían suponer el ahorro del entre el 50 % y el 85 % del consumo energético de un inmueble. Un dato relevante teniendo en cuenta que los edificios consumen casi el 40 % de la energía total.

### 20 El alma mater de los nucleares españoles

El Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas, Ciemat, es el heredero de la antigua Junta de Energía Nuclear, el primer centro donde se investigó la energía del átomo en España, y que incluye las actividades que luego asumirían Enusa, Enresa y el Consejo de Seguridad Nuclear. 60 años después, sigue investigando y desarrollando tecnología propia en este ámbito.



### 25 La mente humana en diez instantáneas

Comprender los mecanismos que rigen el funcionamiento del cerebro es el gran reto de la ciencia de nuestro siglo. Uno de los pasos más importantes para avanzar en esta investigación es la resonancia magnética nuclear funcional (RMNf), que permite registrar la actividad cerebral en directo mientras se realiza alguna función mental. Aquí se ofrecen diez de estos instantes.

## 30 **Reciclado metálico sin sorpresas**

En 1998, la presencia inadvertida de una fuente radiactiva entre los residuos metálicos para reciclar provocó en la planta de Acerinox en Cádiz, la contaminación de gran cantidad de material y una nube radiactiva. También dio lugar a un protocolo voluntario de prevención que ha convertido a España en una referencia internacional en la detección de fuentes radiactivas entre los residuos metálicos reciclables.

## 36 **RADIOGRAFÍA**

Usos industriales de las radiaciones ionizantes.

## 38 **ENTREVISTA**

Rosario Velasco, vicepresidenta del Consejo de Seguridad Nuclear: “Creo que el CSN tiene un nivel muy saludable de independencia”.

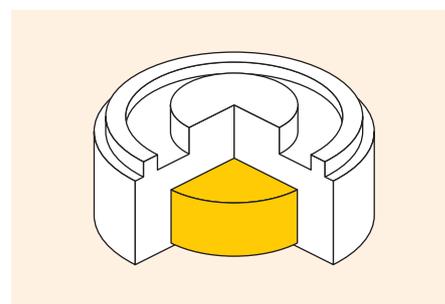
### **ARTÍCULOS TÉCNICOS**

## 43 **Breve análisis del régimen sancionador establecido en la Ley de Energía Nuclear**

La inobservancia de las normas administrativas puede acarrear consecuencias muy graves para las economías de los agentes que operan en el sector de la seguridad nuclear y de la protección radiológica. De ahí la importancia de conocer la esencia de nuestro catálogo sancionador y su filosofía, para evitar inseguridades, indefensiones y tratos de favor.

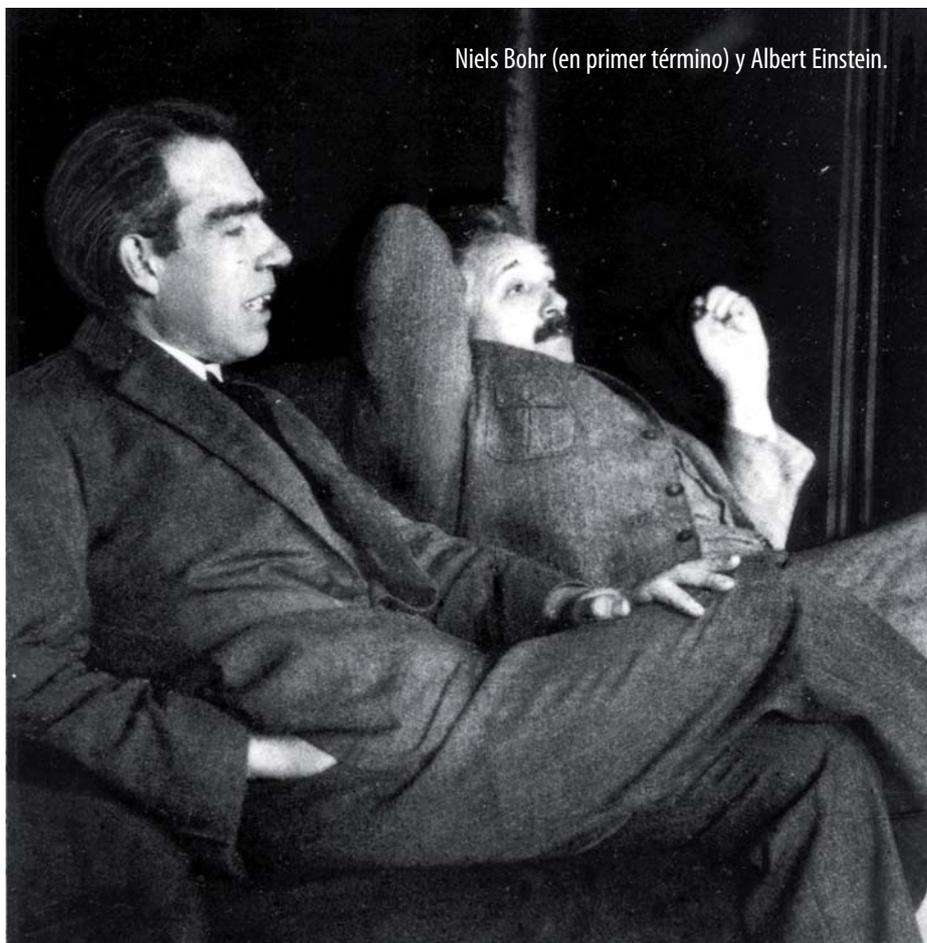
## 50 **Aplicaciones industriales de las radiaciones ionizantes y requisitos de seguridad y protección radiológica**

El uso de las radiaciones ionizantes en el mundo industrial es cada vez más habitual, dada la versatilidad que se deriva de la variedad de procesos físicos que se producen en la interacción de la radiación con la materia. En este artículo se hace un repaso de las principales aplicaciones en la industria española y se describen los requisitos de seguridad y protección que afectan a cada una de ellas.



61	<b>Reacción en cadena</b>
64	<b>Panorama</b>
67	<b>Acuerdos del Pleno</b>
68	<b>El CSN informa</b>
71	<b>csn.es</b>
72	<b>Publicaciones</b>

Niels Bohr (en primer término) y Albert Einstein.



En 1913 el físico danés describió un nuevo modelo atómico que revolucionó la ciencia de la época

## El átomo de Bohr cumple 100 años

La física cuántica, que cuajaría en la hasta ahora incontestable mecánica cuántica, no tiene un padre único sino un buen puñado de ellos, físicos de las primeras décadas del siglo XX que, con sus descubrimientos asombrosos, conformaron un cuerpo teórico capaz de comprender, como nunca hasta entonces, el funcionamiento del universo en su nivel más fundamental: el de las partículas elementales y las fuerzas de interacción entre ellas. Uno de los primeros y más destacados padres de este nuevo mundo fue Niels Bohr, el físico danés que se convirtió en un pilar de la ciencia contemporánea y que creó escuela desde su Copenhague natal. Él construyó el primer modelo cuántico del átomo, hace ahora 100 años. ■ Texto: **Alicia Rivera** | periodista científica, redactora de *El País* ■

**A**lbert Einstein y Niels Bohr, dos gigantes de la ciencia del siglo XX, solían discutir sobre los aspectos más profundos y sobre las implicaciones de la revolucionaria física cuántica que estaba en plena ebullición. El primero nunca se sintió cómodo con el no determinismo cuántico, tan extraño a los cimientos de la física clásica, y argumentó con una famosa frase, a menudo citada fuera de contexto: “Dios no juega a los dados”. Bohr, ferviente defensor de la visión cuántica, le dio una respuesta contundente: “Einstein, deja de decirle a Dios lo que tiene que hacer”. Einstein obtuvo el premio Nobel de Física de 1921 y Bohr el de 1922, pero la ceremonia fue conjunta para ambos, ya que la decisión sobre el primero se demoró un año por discrepancias entre los miembros del comité.

“El paso dado por Bohr al proponer, en 1913, el primer modelo cuántico del átomo de hidrógeno fue absolutamente crucial para la formulación y desarrollo inicial de la mecánica cuántica”, destaca Luis Ibáñez, catedrático de Física Teórica de la Universidad Autónoma de Madrid (UAM). ¿Pero, qué aportaba ese átomo cuántico? ¿Qué fenómenos de la naturaleza ayudaban a explicar allá donde las explicaciones anteriores fracasaban? El físico teórico del Laboratorio Europeo de Física de Partículas (CERN) y del Instituto de Física Teórica UAM-CSIC, Álvaro de Rújula, adelanta una respuesta impactante: “Que los átomos no se *desinflaran* a medida que sus electrones perdieran energía emitiendo luz continuamente”.

El átomo, como unidad fundamental de todo lo que existe, estaba en la mente de los sabios desde los griegos, fuera lo que fuera ese átomo. Pero a finales del siglo XIX la física había avanzado tanto como para explorar profundamente ese ente. El británico J. J. Thomson demostró, en 1897, que el átomo no era indivisible, sino que contenía

partículas de carga negativa: los electrones. Ideó un modelo de átomo con una masa de carga positiva y las cargas negativas de los electrones incrustados en ella, como las pasas en un pastel, pero no tuvo éxito a la hora de explicar la radiación emitida por los átomos.

Ernest Rutherford dio otro importante paso adelante al demostrar, alrededor de 1910, que el átomo tiene prácticamente toda su masa concentrada en el núcleo, que es 10.000 veces más pequeño que el átomo completo, y propuso un modelo planetario, con los electrones orbitando alrededor del núcleo como los planetas alrededor del Sol. Pero este modelo tenía un serio problema, señala Luis Álvarez-Gaumé, físico teórico del CERN: “Los electrones tienen carga eléctrica y, al orbitar alrededor del núcleo emiten radiación, pierden energía, su órbita disminuye de tamaño y, en un tiempo muy breve, se precipitan sobre el núcleo. Esto implicaría que los átomos no son estables”. Así, los electrones del átomo de Rutherford perderían toda su energía en un instante, “se desinflarían”, como dice De Rújula.

“Por otra parte”, continúa Álvarez-Gaumé, “los átomos emiten radiación con frecuencias discretas bien definidas, que se habían observado desde el siglo XIX a través de sus líneas espectrales. Bohr, con su hipótesis, resuelve los dos problemas al asumir que las órbitas de los electrones están cuantificadas”. Es decir, el danés concibió un modelo atómico revolucionario

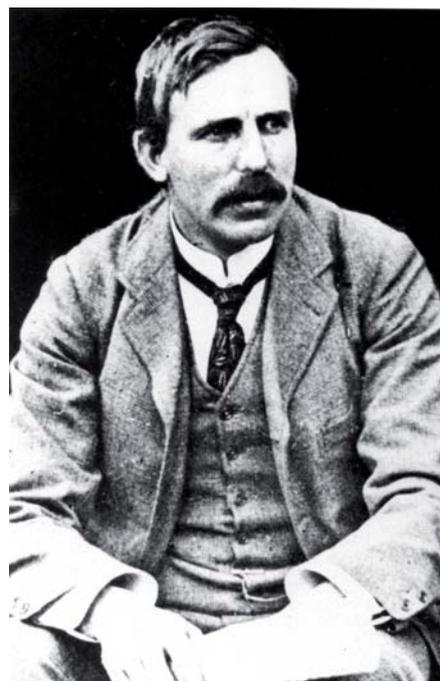
incorporando la idea cuántica de Max Planck, con la emisión de la radiación no en un flujo continuo sino en cantidades discretas o paquetes. Así, los electrones de Bohr tenían que obedecer el principio cuántico de que la energía está en paquetes. Publicó su modelo en 1913.

“La idea de Bohr es que los electrones giraban en torno al núcleo en órbitas

que eran estables gracias al postulado de que el momento angular estaba cuantizado, lo cual implicaba que la energía de los electrones también estaba cuantizada,



J.J. Thomson (arriba) y Ernest Rutherford propusieron los primeros modelos de átomo antes de que Bohr presentara el suyo.



mientras que antes se pensaba que un electrón girando tenía que irradiar, por lo que *espiraleaba*, y finalmente se caía en el núcleo”, ahonda Enrique Álvarez, catedrático de Física Teórica de la UAM. “También interpreta las rayas de emisión (que eran conocidas experimentalmente) como transiciones de un electrón de un nivel a otro con energía menor, y la diferencia de energía la acarrea el fotón”.

Nacido en Copenhague el 7 de octubre de 1885, hijo de un profesor de Fisiología y en una familia materna del entorno educativo, Niels Bohr “creció en una atmósfera muy favorable para el desarrollo de su genio”, señalaba la biografía de la Fundación Nobel al documentar el premio de Física que recibió en 1922. Estudió en la Universidad de Copenhague, donde se doctoró en Física en 1911. Pese a algunos escarceos experimentales juveniles, se fue orientando cada vez más hacia el trabajo teórico y su tesis doctoral versó sobre las propiedades de los metales aplicando la teoría del electrón. “Fue en este trabajo donde Bohr afrontó por vez primera las implicaciones de la teoría cuántica de la radiación

de Planck”, destaca la Fundación Nobel. Poco después, con 26 años, presentó su átomo cuántico. “Publicada en una serie de tres artículos, en el verano y en el otoño de 1913, la teoría atómica seminal de Niels Bohr revolucionó la concepción de los físicos sobre la materia”, recordaba este año Helge Kragh en la revista *Physics Today*.

Esos dos años entre la tesis doctoral y los famosos trabajos que ahora cumplen un siglo, Bohr los había pasado en el lugar adecuado en el momento adecuado: en Cambridge (Reino Unido), con J. J. Thomson, y en Manchester, con Rutherford. Y superó los modelos atómicos de ambos.

En 1916, Bohr fue nombrado profesor de Física Teórica en la Universidad de Copenhague y, desde 1920 hasta su muerte,

en 1962, dirigió el Instituto de Física Teórica que fundó en dicha universidad. El instituto, que posteriormente dirigió su hijo Aage (premio Nobel de Física en 1975), se convirtió en un centro neurálgico de la física del siglo XX, hasta tal punto que el modelo estándar de física cuántica durante la primera mitad del siglo XX se conoció como la “interpretación de Copenhague”, aunque no era la única. Su carrera científica fue tan fructífera como larga y realizó unas 115 publicaciones con importantes contribuciones a la mecánica cuántica que se desarrolló en aquellos años.

“Bohr también contribuyó a la clarificación de los problemas surgidos en la física cuántica, en particular desarrollando el concepto de complementariedad, donde mostró la profundidad de los cambios producidos en el campo de la física y en los rasgos fundamentales de nuestra perspectiva científica. Y también cómo las consecuencias de ese cambio de actitud llegan mucho más allá de la física atómica y afectan a todos los dominios del conocimiento humano”, según la biografía de Bohr de la fundación sueca. El principio de complementariedad, además, ayudó a resolver paradojas aparentes de la física cuántica.

Durante la ocupación nazi de Dinamarca en la Segunda Guerra Mundial, Bohr huyó a Suecia y pasó dos años en el Reino Unido y en Estados Unidos, donde participó en la génesis de las primeras bombas atómicas: el Proyecto Manhattan. Como otros colegas, tras la Segunda Guerra Mundial, dedicó sus esfuerzos a defender las aplicaciones pacíficas del átomo y a los problemas políticos desencadenados por la construcción de las bombas atómicas. En 1950, siguiendo la sugerencia de Bohr, la Organización de Naciones Unidas creó el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). En los últimos años de su vida, además, se interesó notablemente por la

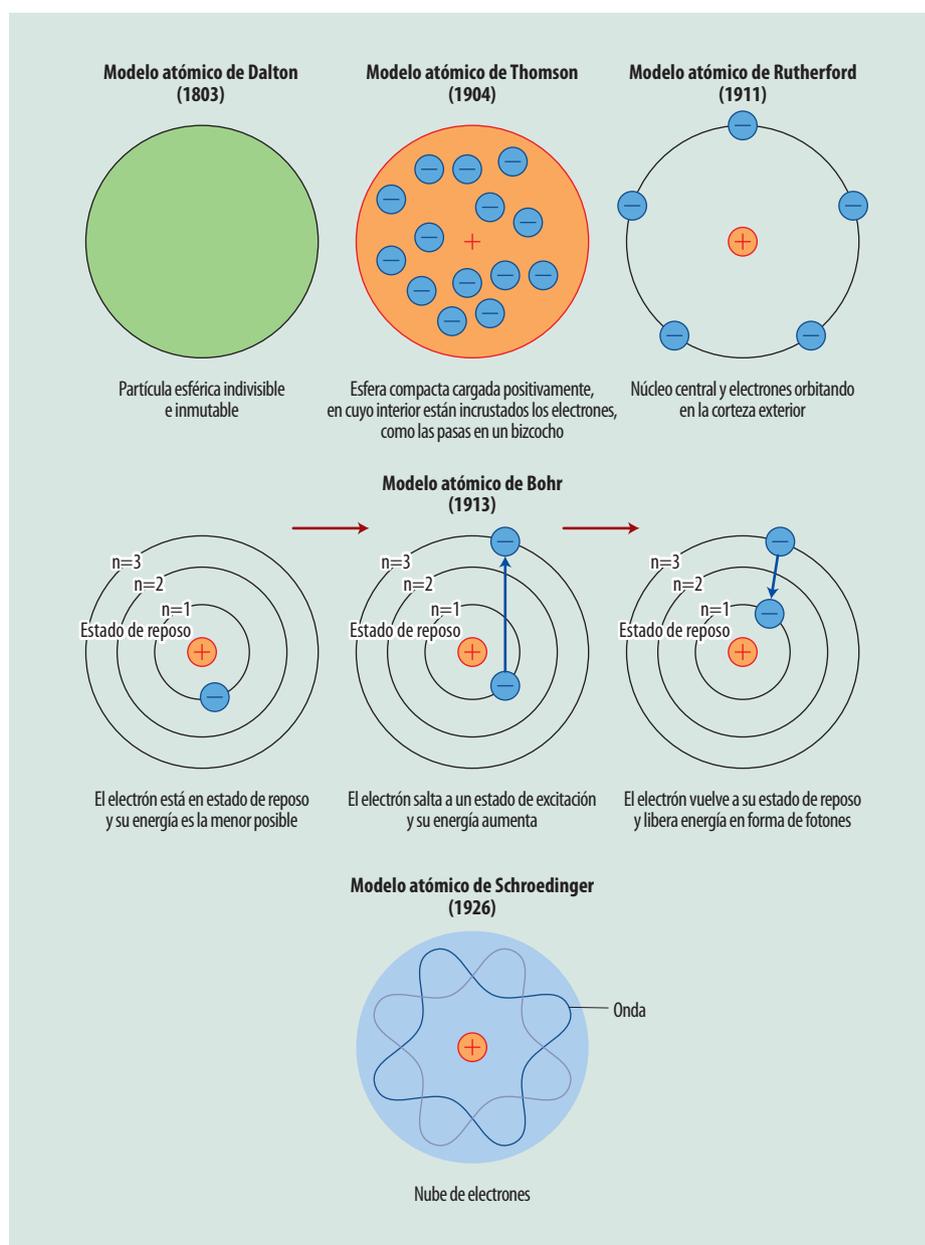
biología molecular que había tenido su gran revolución en 1953, con el descubrimiento de la estructura del ADN por Francis Crick y Jim Watson.

El átomo de hace un siglo, con todo lo revolucionario que fue, necesitó mejoras para sostenerse, sin que ello quite un ápice de mérito al trabajo osado y clarividente del danés. “Los tres artículos de Bohr, también conocidos como la trilogía, eran rompedores porque, por primera vez, describían cómo funcionan los átomos, De esa forma, la estructura de la materia podía explicarse”, recapitu-

laba Troels Petersen, profesor asociado del Instituto Niels Bohr al *University Post*, de la Universidad de Copenhague.

Pero tuvieron que pasar todavía unos años hasta que ese modelo imperfecto cuajara en el átomo de la mecánica cuántica. La revolución de la física no surgió de un único paso, de la mente de un genio solitario, sino de las aportaciones de un puñado de físicos.

En el modelo atómico de Bohr de 1913, con el núcleo de carga positiva y los electrones como partículas puntuales de carga negativa que giran en órbitas



## Dos genios en Copenhague

En septiembre de 1941, en plena guerra mundial, dos genios de la física, cada uno en un bando contendiente, se reunieron en la Copenhague ocupada por Alemania: Niels Bohr (55 años), como anfitrión de la reunión, y Werner Heisenberg (39 años) como visitante. Habían sido colaboradores muy próximos, ambos protagonistas de la revolución cuántica. Pero en aquel momento, unidos en la ciencia, estaban separados en la terrible realidad política: Bohr, amenazado por la Gestapo, acabaría huyendo de Dinamarca y participaría en el programa de la bomba atómica estadounidense; Heisenberg era uno de los pocos físicos que se había quedado en Alemania y estaba trabajando en el programa bélico atómico. ¿De qué hablaron? ¿Qué llevó a Heisenberg a Copenhague?



No quedó registro en el momento de las conversaciones de los dos físicos, pero la reunión alcanzó con los años una dimensión histórica, realizada por un libro de 1956 (con ambos protagonistas aún vivos), que aborda el encuentro y levanta la controversia, avivada aún más, en 1998, por la obra de teatro *Copenhague*. Ni las cartas de Heisenberg y de Bohr años después sobre el encuentro, ni siquiera las notas del segundo hechas públicas por su familia en 2002, han zanjado la cuestión.

Para algunos, Heisenberg habría intentado convencer a Bohr, con todo su prestigio, de que impidiera el desarrollo de la bomba atómica en el bando aliado, lo que habría disgustado completamente al danés. Para otros, el alemán buscaba discutir con el danés las implicaciones morales de la participación de los científicos en el esfuerzo bélico estratégico. Para otro grupo, las intenciones profundas serían averiguar en qué nivel estaba el enemigo en ese esfuerzo. Desde luego hablaron de física, de la fisión atómica, de los retos tecnológicos implicados... las notas y recuerdos de uno y otro lo atestiguan. Pero, al parecer, las intenciones y motivos de Heisenberg siguen envueltos en un tupido velo de incógnitas. Lo que es seguro es que los dos colegas, y antaño amigos, no volvieron a encontrarse. ▶

Werner Heisenberg (izquierda) con Niels Bohr en el laboratorio de este en Copenhague.

concéntricas a su alrededor, estos últimos existen solo en ciertos estados estacionarios y cambian su energía saltando de uno a otro, emitiendo así fotones de radiación electromagnética, de frecuencias determinadas según esos saltos. “A diferencia de lo predicho por el electromagnetismo clásico, el electrón llegaba a una órbita de mínima energía y hacía que el átomo fuera estable”, explica Ibañez”. Eso sí, el por qué esas

órbitas serían estables siguió siendo un misterio. Pese a ello, el modelo fue ampliamente aceptado entre los físicos.

La verdad es que el átomo visto como un núcleo con los electrones girando en torno suyo, aunque cuantizados, tenía virtudes notables (sobre todo por su potencia al explicar observaciones experimentales). Sin embargo, sus limitaciones no se resolvieron hasta la década siguiente, con el desarrollo de la

mecánica cuántica de la mano de Werner Heisenberg, Wolfgang Pauli, Max Born, Jordan Erwin Schroedinger, Paul Dirac y, entre otros, el propio Bohr, que desde luego no se había quedado de brazos cruzados tras sus artículos de 1913. “Hicieron falta más de diez años todavía antes de que la formulación definitiva de Heisenberg y Schrödinger permitiera entender qué aspectos del átomo de Bohr formaban parte de la teoría definitiva”, apunta Álvarez-Gaumé.

“La irrupción de la mecánica cuántica, en los años 20, retuvo el concepto de órbitas, pero reimaginó los electrones

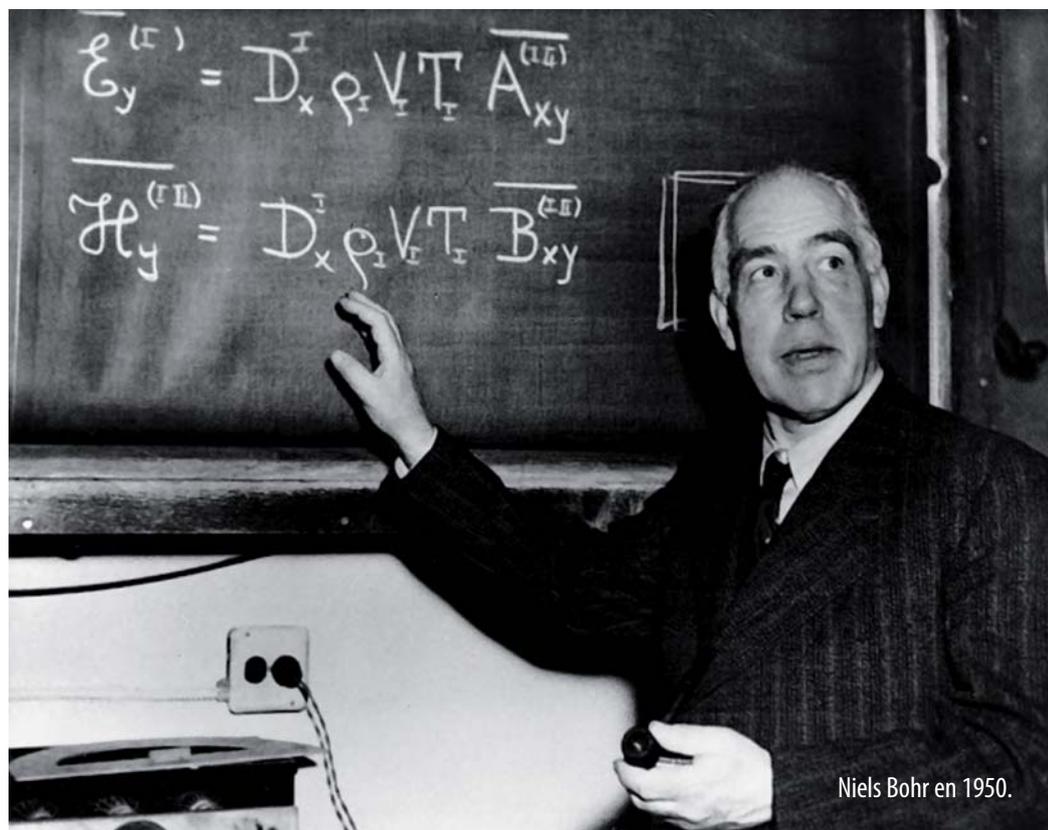
como entes difusos alrededor del núcleo, de manera que su localización puede solo describirse como probabilidades, en forma de función de onda matemática”, escribe Richard Van Noorden en *Nature*, con ocasión del centenario del átomo de Bohr. Oriol Romero-Isart, científico del Instituto Max Planck de Óptica Cuántica, explicaba en un artículo publicado en *El País*, el modelo de átomo ahora vigente: “Aunque al visualizar el mundo

fenómenos de la naturaleza y para convertirse en la teoría científica, comprobada experimentalmente, con mayor precisión de la historia de la ciencia. Y plenamente vigente...

“Un viejo problema de la mecánica cuántica es la paradoja EPR, de Einstein, Podolski y Rosen”, explica De Rújula. “Supongamos que una partícula se desintegre en otras dos. El medir el estado de una de ellas determina instantánea-

de partículas *Large Hadron Collider* (LHC), en concreto el denominado CMS, para alcanzar un nivel de precisión suficiente como para anunciar el descubrimiento de dicho bosón. El otro experimento que lo detectó, el Atlas, tuvo más suerte y no necesitó explotar esta sutileza. Así que lo que un día se consideraban problemas cuánticos son ahora exitosos métodos experimentales”. El éxito de ambos experimentos ha sido la clave para la concesión del premio Nobel de Física 2013 a François Englert y Peter Higgs.

En un siglo, a partir del estirón juvenil, la física cuántica ha crecido mucho, y aquel modelo del átomo de Bohr como un minisistema planetario, con todo el mérito y la importancia que tuvo, ha quedado superado. “Esto es un poco diferente de la situación de la teoría de la relatividad especial de Einstein”, compara Ibañez. “El artículo de Einstein de 1905 sigue siendo totalmente correcto tal y como fue escrito, mientras que los de Bohr de 1913 no. Y es que esa teoría de Einstein fue una revolución relativamente conservadora, simplemente desarrolló una dinámica clásica consistente con la constancia



Niels Bohr en 1950.

cuántico hay que ser siempre precavido, en el caso del átomo, es más correcto imaginar los electrones no como partículas sino como nubes difusas alrededor del núcleo, cuya densidad en cada punto representa la probabilidad de encontrar el electrón en ese sitio”.

La mecánica cuántica, con todos sus postulados aparentemente contrarios al sentido común, abrió la puerta a una visión del universo subatómico completa y radicalmente nueva, y demostró una eficacia asombrosa para describir los

mente el estado de la otra, es como si la información pudiese transmitirse entre ambas, incluso a mayor velocidad que la luz. A Einstein, Podolski y Rosen esto les parecía imposible, pero este entrelazamiento cuántico es una realidad de las cosas tal y como son en nuestro universo, aunque no puede emplearse hoy para transmitir información. Pero el hecho de que dos partículas resultantes de la desintegración de un bosón de Higgs estuviesen entrelazadas fue determinante en uno de los experimentos del acelerador

de la velocidad de la luz en cualquier sistema de referencia”, explica el profesor de la UAM. “La mecánica cuántica, por el contrario, es realmente revolucionaria en sus planteamientos y requirió el trabajo conjunto de varios genios de la física durante los dos decenios que van de 1910 a 1930, así como el desarrollo de técnicas experimentales adecuadas que permitieron verificar la teoría con enorme detalle”. Y Bohr tuvo un papel crucial en la formulación y en el desarrollo de la mecánica cuántica. ©



Los telómeros,  
unas estructuras  
de los cromosomas,  
tienen la clave  
para frenar el cáncer  
y rejuvenecer las células

## La puerta a la eterna juventud

Los científicos han abierto una puerta que podría conducir a la humanidad hacia una vida más larga, sin vejez y sin cáncer. Los telómeros y la telomerasa son las piezas clave para lograr llegar a ese futuro de ensueño. Los telómeros están en los extremos de los cromosomas y sirven para protegerlos del deterioro; si se acortan la célula envejece y deja de reproducirse.

La telomerasa es la molécula que los sintetiza y recombina, que es como rejuvenecer a la célula. Desde su descubrimiento, a mediados del siglo pasado, los telómeros han pasado de ser un intrigante misterio de la biología molecular a ser protagonistas de una revolución inminente. ■ Texto: **América Valenzuela** | química y periodista científica ■

“ Los telómeros evitan que se deshila- che el ADN, como lo hacen las ca- peruzas de plástico con los extremos de los cordones de las zapatillas”, es el acertado símil más repetido por científicos de todo el mundo para explicar qué

son estas estructuras. Estrictamente, son fragmentos de ADN situados en los extremos de los brazos de los cromosomas. Son secuencias no codificantes, es decir, no contienen la información genética necesaria para la síntesis de alguna proteína

de nuestro organismo. Su función es proteger la integridad del material genético cada vez que los cromosomas se dividen para crear una célula nueva.

La revolución que protagonizan se gestó en la década de 1930, cuando el

biólogo y genetista Hermann J. Muller y la botánica Barbara McClintock observaron, en la mosca del vinagre y en la planta del maíz respectivamente, que unas estructuras situadas en los extremos de los cromosomas parecían impedir que los cromosomas se unieran entre sí dentro del núcleo de las células. Llamaron a estos fragmentos finales de ADN telómeros, del griego *telos* (final) y *meros* (parte). Sospecharon que podrían tener un papel de protección, pero su funcionamiento era un enigma.

Un par de décadas más tarde, comenzó el boom de la biología molecular. En 1953, James Watson y Francis Crick describieron, junto a Maurice Wilkins, la estructura de doble hélice del ADN y averiguaron que la molécula estaba formada por dos cadenas complementarias compuestas por cuatro nucleótidos (adenina, citosina, guanina, y timina). Como piezas de un puzzle, la timina de una cadena encaja con la adenina de la otra, y la guanina con la citosina. Esto dio las claves para describir el proceso de replicación de la molécula de la vida, que se produce cuando una célula se dispone a dividirse en dos células hijas. A raíz de ello se descubrió para qué servían los telómeros.

Los telómeros son los extremos de los cromosomas y protegen su información genética.



La replicación consiste en fabricar una copia fiel de cada una de las hebras, y como son complementarias el resultado serán dos cromosomas idénticos al original. De esta delicada función se encarga la enzima ADN polimerasa, y no es

un trabajo sencillo, porque el ADN de un cromosoma es largo, muy largo, tanto que estirado mide unos 5 centímetros, y contiene 150 millones de pares de bases. Así que el trabajo de replicación lo realiza un auténtico ejército de esas moléculas.

## El negocio de la telomerasa

A día de hoy no existe ninguna pastilla capaz de alargar los telómeros. Sin embargo, hay a la venta suplementos alimenticios que prometen este efecto, como el TA-65, cuya venta genera a la compañía TA Sciences cerca de 6 millones de dólares anuales solo en Estados Unidos. El ingrediente principal activador de la telomerasa proviene de la hierba *Astragalus membranaceus*. Fue descubierto y patentado por la compañía Geron, que lo vendió cuando decidió cambiar de rumbo sus investigaciones, abandonar el estudio de envejecimiento y centrarse en el cáncer. La molécula ya no le interesaba puesto que la estrategia cambiaba de estimular la telomerasa a inhibirla.



El producto no tiene el apoyo de la comunidad científica, incluida la Nobel que descubrió la telomerasa, Carol Greider, que clamaba en *Nature* que no confiaba en el producto porque la ciencia que hay detrás era turbia. Si un producto capaz de estimular la telomerasa fuera eficaz sería un fármaco y no un suplemento alimenticio, y sería una esperanza para los pacientes afectados por fibrosis quística o fallos de la médula ósea. Lo cierto es que TA Sciences se ha visto inmersa en escándalos por las denuncias de vendedores con cáncer, que achacan su enfermedad a la obligación, por contrato, de tomar el suplemento. La realidad del origen de su enfermedad no podrá conocerse hasta que se estudien, con rigor, los efectos de la pastilla sobre el organismo humano.

Pero este proceso tiene un gran inconveniente. “La polimerasa no puede copiar el ADN en las dos direcciones. La zona donde se ‘sienta’ para comenzar su labor no se replica porque no puede volver sobre sus pasos. De esta manera, cada vez que una célula se divide pierde ADN”, explica Manuel Collado, investigador del Hospital Clínico de la Universidad de Santiago de Compostela, especialista en células madre, cáncer y envejecimiento. Ese asiento donde se acomoda la polimerasa, el telómero, está formado por secuencias simples y repetidas de nucleótidos.

Ahí reside la utilidad de los telómeros, en proteger a los cromosomas de este defecto del proceso de replicación que conlleva pérdidas inasumibles de secuencias. Logran que toda la información esencial contenida en el cromosoma se replique por completo, sin pérdidas. En definitiva, la célula pierde fragmentos de telómeros para salvar al ADN codificante de la mutilación. Esta importante función fue descubierta por la bioquímica australiana Elizabeth H. Blackburn y por el biólogo molecular inglés Jack W. Szostak, en 1978.

### La llegada de la telomerasa

Aún quedaba una pieza esencial que descubrir: la enzima que sintetizaba los telómeros. Lo logró Carol Greider, entonces una estudiante de posgrado que tenía como supervisora a Blackburn. El día de Navidad de 1984, la joven científica de 23 años, descubrió signos de la presencia de esta sustancia. La bautizaron como telomerasa. Por estos descubrimientos los tres científicos recibieron el premio Nobel de Medicina y Fisiología en 2009.

Hasta que llegó ese momento álgido del reconocimiento internacional, algunos de sus colegas no veían demasiado

futuro a las investigaciones con telomerasa. Bien lo sabe la científica española María Blasco, hoy referente mundial en el estudio de estas estructuras, que dirige el Centro Nacional de Investigaciones Oncológicas (CNIO) y su Grupo de Telómeros y Telomerasa. “Cuando escogí in-



Elizabeth H. Blackburn, bioquímica que descubrió la función de los telómeros.

vestigar sobre la telomerasa era un tema muy novedoso y muy arriesgado”, relata. Acababa de terminar su tesis con la bioquímica Margarita Salas y buscaba beca para hacer una estancia postdoctoral. “Durante una entrevista en el European Molecular Biology Organization (EMBO) me dijeron: es un tema que no se sabe bien para qué vale y te irías con



Carol Greider, premio Nobel de Medicina 2009 por sus trabajos en telomerasa.

una investigadora joven que aún no ha demostrado que sea capaz de llevar su laboratorio, que era Carol Greider”, continúa. No le dieron la beca.

“Al final me dieron la Fullbright, pero tampoco me la querían dar. Tuve la suerte de que una persona que trabajaba con Margarita Salas, Crisanto Gutiérrez, estaba de evaluador y dijo: ¡qué barbaridad!, Greider es la caña y este tema tiene un potencial increíble”, recuerda. Gutiérrez dio en el clavo. Blasco se incorporó al grupo de Greider en el Laboratorio Cold Spring Harbour (Nueva York) y allí aprendió de primera mano los secretos de la telomerasa.

### Envejecimiento y cáncer

Desde entonces, las investigaciones sobre telomerasa han despegado. Están en el punto de mira de la comunidad científica y de la industria biomédica porque es una de las moléculas con más potencial para frenar dos procesos biológicos muy diferentes: el cáncer y el envejecimiento.

Sucede que los telómeros no son eternos. Los telómeros se van desgastando con las divisiones celulares y no se restauran a lo largo de la vida de un individuo. Con el paso del tiempo se acortan hasta que llega un momento en el que son tan pequeños que no pueden ejercer correctamente su función. “Llega un punto en el que los telómeros de la célula están tan dañados que esta induce su propia muerte (apoptosis) o deja de dividirse y se acumula hasta que el sistema inmune la retira (senescencia)”, explica Collado.

Los telómeros se desgastan, pero podrían regenerarse si entrase en acción la telomerasa. Sin embargo, esta enzima solo está presente de manera abundante durante el desarrollo embrionario. “Cuando nacemos se silencia en todas las células excepto en las células madre adultas, que necesitan la molécula para mantener los

## Triple, el superratón

*Triple* es un ratón creado en el laboratorio del Centro Nacional de Investigaciones Oncológicas (CNIO). Vive un 40% más que los ratones normales. Trasladado a los humanos, el logro conseguido equivale a poder vivir hasta los 120 años. El punto de partida para crear a *Triple* es *Superp53*, otro ratón de laboratorio modificado genéticamente por el Grupo de Supresión Tumoral liderado por Manuel Serrano para que fuera inmune al cáncer. Este ratón tiene más cantidad de genes supresores tumorales (p53, p16 y p19ARF) que sus congéneres normales para protegerles del cáncer. Sobre este roedor el grupo de María Blasco aumentó la expresión de la telomerasa. Los nuevos ratones modificados genéticamente presentaban un buen estado neuromuscular a edades avanzadas, mayor tolerancia a la glucosa (lo que equivale a menor diabetes en la vejez) y tejidos más sanos capaces de mantenerse jóvenes durante más tiempo (como la piel y el intestino, por ejemplo). El trabajo publicado en 2008 en la revista *Cell* es una prueba de concepto de que es posible aumentar la longevidad de un organismo mediante estos cuatro elementos. ▶

telómeros largos que le permiten replicarse y diferenciarse con rapidez cuando son utilizadas para reponer algún tejido dañado”, ilustra Collado. Así en un cuerpo sano y normal, a medida que

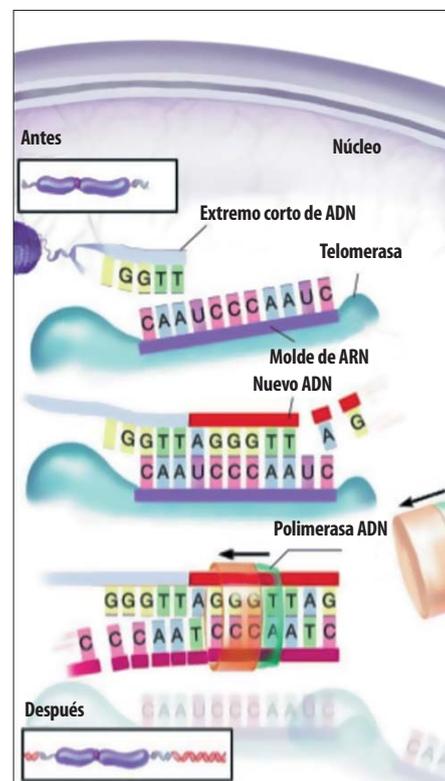
aumenta el porcentaje de células con los telómeros desgastados los tejidos pierden capacidad regenerativa, envejecen y aparecen las enfermedades asociadas.

El cáncer se salta esta norma. Las células cancerosas tienen mucha telomerasa. Lo publicaba *Science* en 1994. “Es una de las alteraciones más comunes de todos los tipos de cáncer”, subraya Blasco. Las células cancerígenas consiguen que la telomerasa las mantenga inmortales. Gracias a ella se dividen en masa, evitan la apoptosis, la senescencia y la expresión de los supresores tumorales.

Los científicos no han pasado por alto la repercusión que podría llegar a tener el desarrollo de terapias que inhiban la telomerasa de las células tumorales para frenar el cáncer. Algunos ya han creado empresas, como la estadounidense Geron Corporation, que está desarrollando medicamentos antitelomerasa contra el cáncer con buenos resultados, por el momento, en células en cultivo. Las células tratadas reducen sus telómeros y mueren tras aproximadamente 25 divisiones.

El grupo de María Blasco está trabajando en la otra línea prometedora. La de frenar el envejecimiento estimulando la actividad de la telomerasa para mantener los telómeros largos. Numerosos estudios han demostrado en ratones que intervenciones que disminuyen la velocidad de este acortamiento con la edad, como la expresión forzada de la telomerasa, son suficiente para retrasar el envejecimiento y aumentar la longevidad.

Así, la telomerasa confiere eterna juventud a las células, pero hay un gra-



Reconstrucción de los telómeros por la telomerasa.

ve problema: “En el organismo siempre hay alguna célula pretumoral. Si le conferimos telomerasa, el organismo desarrollará tumores. Por eso no es posible alargar la vida de una especie,



María Blasco, directora del Centro Nacional de Investigaciones Oncológicas.

incluidos los humanos, si no se corrige a la vez el problema del cáncer”, asegura Blasco. Para lograr este delicado equilibrio, su equipo ha aumentado en

ratores la presencia de varios genes supresores tumorales, a la vez que aumentaba la telomerasa. Y ha funcionado. Por eso “no me cabe ninguna duda de que vamos a poder regular el proceso de envejecimiento. Lo hemos regulado en ratones y nosotros no somos tan diferentes de un ratón”, afirma rotunda.

Hasta hace una década la humanidad tenía asumido que la vejez era inevitable. Que era ineludible sufrir las enfermedades asociadas al paso de los años. Muchos investigadores creían que el envejecimiento era algo prefijado, un proceso programado en nuestra biología, que culminaba con la muerte en un plazo de tiempo inscrito en el ADN. Hoy la visión es bien distinta. Los científicos entienden que la vejez se puede evitar. Se han multiplicado las investigaciones sobre el envejecimiento, de la mano del aumento exponencial de la población anciana y con los avances en manipulación genética.

“No deberíamos tener enfermedades. Deberíamos ser capaces de llegar a los 80 o 90 años sin enfermedad”, asegura Blasco. Pero “no se trata de intentar que vivamos más años; el objetivo es que nuestras células estén sanas el mayor tiempo posible”, puntualiza, aunque añade que “el alargamiento de la vida será un efecto secundario de la ausencia de enfermedades”.

En el CNIO definen las rutas que hacen que uno envejezca antes o después e identifican marcas que den información sobre el grado de envejecimiento biológico del individuo. Este envejecimiento puede no coincidir con la edad cronológica. Hay gente que está deteriorada para su edad y otros que están más jóvenes.

La medicina del futuro consistirá en controlar esos “marcadores que nos

permitirán estimar el grado de envejecimiento de un organismo. Y ver si algo va mal antes de que aparezca la enfermedad para poder prevenirla”, explica Blasco.

Uno de los marcadores es la longitud de los telómeros. Esta indica el número de divisiones que ha realizado o que le quedan a una célula. Hay empresas que los miden, como Advanced Medical Projects, que es una empresa biotecnológica española creada en 2009, fruto de un *spin-off* del Consejo Superior de Investigaciones Científicas



Manuel Collado, especialista en cáncer y envejecimiento.

(CSIC); la estadounidense Telome Health o Life Length, de la que María Blasco es cofundadora.

Pero el envejecimiento es un proceso complejo. La telomerasa y la longitud de los telómeros no son los únicos factores que influyen en esta decadencia. Las teclas que se pueden pulsar para frenarlo dentro de una célula son múltiples y variadas. Según el biólogo británico Thomas Kirkwood el deterioro es una acumulación de errores metabólicos. “Tenemos que entender por qué suceden para poder modificarlos”, asegura. Por eso, averiguar cómo y por qué las cosas empiezan a ir mal dentro de las células y cómo esto contribuye a la aparición de enfermedades como la diabetes, la osteo-

porosis y la osteoartritis, es el objetivo del Instituto de Envejecimiento que dirige en la Universidad de Newcastle (Reino Unido).

Por el momento sabemos que podemos retrasar el envejecimiento si modificamos el estilo de vida. Los hábitos saludables que nos recomiendan, desde hace décadas, las agencias de salud pública son cruciales para mantener los telómeros largos. Estos hábitos son, esencialmente, llevar una alimentación equilibrada rica en verduras, frutas, cereales, baja en grasas y carne roja, limitar el consumo de azúcar, beber mucha agua, evitar la exposición prolongada a la luz solar, hacer ejercicio, evitar el consumo de alcohol, no fumar, evitar el estrés y dormir lo suficiente.

Los ratones de María Blasco viven más, pero los estudios con humanos sanos aún tendrán que esperar. Por el momento la mayoría de las investigaciones van dirigidas a personas que por alguna enfermedad envejecen de manera prematura. El grupo del CNIO está centrando sus esfuerzos en desarrollar una terapia con telomerasa para enfermos de anemia aplásica. La enfermedad se produce por mutaciones en la telomerasa que hacen que los enfermos nazcan con los telómeros mucho más cortos y mueran de forma prematura. “La médula ósea se queda sin células, por lo que no se puede regenerar el sistema inmune ni la sangre y mueren”, explica. De momento, están tramitando el inicio de un ensayo clínico con enfermos, financiado por la empresa farmacéutica Roche.

Todas estas investigaciones en busca de la fuente de la eterna juventud son un resquicio. La puerta de la medicina del futuro se está abriendo poco a poco. Quizá inesperadamente se cierre de un portazo o quizá un golpe de viento la abra de par en par y el sueño de una vida más larga, sin cáncer ni vejez se haga realidad. ©

Superada la fiebre del ladrillo, las nuevas tendencias en el sector de la construcción dejan paso a una arquitectura que integre el uso de las tecnologías modernas y el respeto por el medio ambiente. Entre otros beneficios, destaca el ahorro energético que supondría el empleo generalizado de soluciones bioclimáticas, ya que los edificios consumen casi el 40 % de la energía

total en España, según el Centro Nacional de Energías Renovables, y la arquitectura sostenible permitiría ahorrar entre el 50 % y el 85 % de este consumo. El Gobierno aprobó el pasado 1 de junio el certificado de eficiencia energética, que deberán tener todas las viviendas que se ofrezcan en venta o en alquiler. ■ Texto: **Andrea Jiménez Arratibel** | periodista científica ■

La construcción bioclimática  
permite reducir a más de la mitad  
el consumo energético  
de los edificios

## Hacia una arquitectura sostenible



En mitad del ensanche del barrio de Carabanchel de Madrid un emblemático edificio, de porte exótico, se alza entre las demás construcciones de ladrillo y cemento. El inmueble, obra del arquitecto Alejandro Zaera, se hizo con el premio Riba de Arquitectura y fue la cara de la capital española ante el mundo durante la Exposición Universal de



Shangai. Envuelta en una celosía móvil de cañas de bambú, que aparenta tener vida propia, la vivienda no solo dota de originalidad a uno de los barrios más castizos de la ciudad, sino que cumple a la perfección con la premisa de “edificios más verdes, mejores ambientes, personas más sanas”, bajo la cual tuvo lugar La Semana Mundial de la Edificación Soste-



Cubo de Bambú, en Madrid, del arquitecto Alejandro Zaera. Arriba, detalle de su vista interior.

nible”. El evento reunió en Madrid, el pasado septiembre, a los denominados *Green Building Councils* (consejos de expertos para la edificación verde) de 98 países. El certamen pretendía difundir al mundo entero los beneficios que se obtienen con la edificación sostenible, tanto para el medio ambiente como para mejorar la calidad de vida de los usuarios de las viviendas.

A pesar de que en las últimas décadas ha despertado una nueva forma de interactuar con el planeta, que se ha trasladado el sector de la edificación poniendo de moda conceptos como arquitectura sostenible o bioclimatismo, todavía existe una confusión extendida sobre su sentido. “Aunque los conceptos estén re-

lacionados, no son exactamente lo mismo” aclara Francisco Serna, jefe del Departamento de Energética Edificatoria del Cener (Centro Nacional de Energías Renovables). “La sostenibilidad hace referencia al uso eficiente de los recursos naturales con el objetivo de la regeneración de los mismos, o por lo menos el no agotamiento de estos.” El bioclimatismo, hace más hincapié en el diseño de un edificio consecuente con las características del clima local.

Sus orígenes se remontan hasta la Grecia clásica, donde el acceso a la luz del sol era considerado como un derecho legal del ser humano y las casas se diseñaban a partir de la disponibilidad de la iluminación, y han dejado en la memoria de la historia ciudades como Olinto (siglo V a.C.), cuyo entramado de calles estaba diseñado de manera que todas las casas pudieran recibir más o menos radiación solar según las necesidades de los ciudadanos durante las distintas estaciones. “Un edificio bioclimático utilizará los beneficios del sol, del aire y de la tierra para disminuir sus necesidades energéticas. Un edificio sostenible utilizará además material, sistemas y recursos los más renovables posibles”, explica Serna. A pesar de estas puntuales diferencias, ambos están pensados para adaptarse expresamente al sitio en el que se van a implantar y su diseño persigue que consuman la menor cantidad de recursos posibles en todo su ciclo de vida.

### El ahorro energético

Considerando que, según datos del Cener, solo los edificios son responsables de casi el 40 % del consumo total de energía, resulta bastante alentador saber que siguiendo ciertas estrategias de arquitectura sostenible, es posible ahorrar entre el 50 % y el 85 % de este consumo.

El tipo de material utilizado juega un papel clave, aunque no es posible hablar de materiales sostenibles como

tales, sino de más o menos sostenibles, ya que dependen en gran medida de las condiciones climáticas de la zona, del uso y de las necesidades concretas que se deben satisfacer. “La cuestión es dónde y cómo se utilizan y si los usuarios finales saben cómo gestionar esos materiales. Un edificio puede comportarse de una forma muy sostenible en el sur de España y, sin embargo, de una forma muy poco sostenible en el norte”, sostiene José Suraña, arquitecto y miembro de la Junta Directiva de la Asociación Sostenibilidad y Arquitectura (ASA).

Lo razonable para medir dicha sostenibilidad es considerar aquellos productos que durante su periodo de existencia, desde su extracción hasta su demolición, pasando por su transformación, transporte y puesta en obra, empleen la menor energía posible y no entrañen un peligro de agotamiento. “Los materiales orgánicos son perfectamente utilizables y, por lo general, aportan bienestar a los espacios habitables, además de tener otras ventajas como su precio, la cercanía al lugar de utilización, su durabilidad, su facilidad de reciclado o el escaso consumo de energía para su obtención”, dice Suraña.

Haciendo hincapié en las consideraciones anteriores, el arquitecto señala como ejemplar el Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos (CIRCE) de la Universidad de Zaragoza, que fue construido con los recursos naturales de la zona y utilizando varios sistemas de bioconstrucción. Además del cuidado al elegir los materiales, se han introducido algunas medidas adicionales, como los sistemas pasivos, los muros de alta inercia térmica, los techos verdes, y



El arquitecto José Suraña.



El barrio residencial de Hammarby Sjöstad, a las afueras de Estocolmo.

las energías limpias para el suministro eléctrico y la calefacción.

Otro edificio que consigue un gran ahorro energético gracias, al empleo de técnicas pasivas de energía solar, es el Edificio 70 del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat). Forma parte del proyecto PSE-Arfrisol, que persigue el desarrollo de la arquitectura bioclimática y el uso de ‘frío solar’ en edificios públicos. “A través del acondicionamiento energético, con la instalación de captadores solares térmicos encargados de satisfacer las demandas de agua caliente sani-

taria, calefacción y refrigeración, el edificio llega a ahorrar entre un 80 y un 90 % de energía”, según explica un portavoz del Ciemat.

Teniendo en cuenta el clima continental que lo rodea, con temperaturas muy altas en verano y muy bajas en invierno, el proyecto ha apostado por la tecnología de ‘frío solar’, que sustituye prácticamente el consumo de la energía convencional que supondría satisfacer la demanda del centro por el acondicionamiento del aire. Aparentemente contradictoria, esta tecnología aprovecha la energía de los rayos del sol para refrigerar el ambiente, ya que emplea calor en lugar de electricidad. Además, se ha aprovechado la orientación norte-sur del edificio para



Francisco Serna dirige el Departamento de Eficiencia Edificatoria del Cener.

## Paraísos urbanos

A pocos kilómetros del centro de la ciudad alemana de Friburgo, el barrio de Vauban se ha convertido en el paraíso urbano de la arquitectura bioclimática. Lo que en 1936 era una base militar nazi, representa en la actualidad la referencia mundial de la planificación en urbanismo sostenible. Las viviendas, que han seguido unos estrictos criterios ambientales y de calidad de vida, están construidas con materiales reciclables y cuentan incluso con un sistema de recogida de agua de lluvia. De hecho, tal es la rentabilidad de su diseño en el aprovechamiento energético que las placas solares instaladas en algunos de los edificios producen un superávit de energía, de manera que los residentes pueden sacar beneficios vendiendo la electricidad sobrante.

Otra iniciativa similar se ha desarrollado en Suecia, en el barrio de Hammarby Sjöstad, a las afueras de Estocolmo.

El diseño de sus viviendas permite que el 50 % de la electricidad y el agua consumida provengan de los residuos, ya que los vecinos cuentan con un sistema de recolección subterránea que ofrece la posibilidad de separar los materiales reciclables de los orgánicos, con los que se produce, por ejemplo, el biogás que consumen las cocinas. Además, todas las viviendas cuentan con placas solares.

emplear técnicas solares pasivas y se ha recubierto la fachada de materiales cerámicos que actúan como aislantes térmicos, tienen larga durabilidad y son buenos resistentes contra los agentes atmosféricos.

En su orientación norte, las ventanas cuentan con acristalamientos ‘bajo emisivos’, que permiten el paso de manera selectiva de la radiación solar. La cara sur por el contrario, luce unas alas de vidrio a modo de visera con doble funcionalidad: combatir con su sombra el intenso calor madrileño y hacer de soporte de los paneles fotovoltaicos, responsables de satisfacer las necesidades energéticas del edificio, como la iluminación y la electricidad para equipos. “El objetivo de este

En España también se han llevado a cabo iniciativas de barrios que lucen la etiqueta verde. Un ejemplo es la ‘ecociudad’ de Sarriguren, en Pamplona, que ganó el premio Europeo de Urbanismo de 2008 y ha sido distinguida por la ONU como buena práctica de desarrollo sostenible. Las 5.217 viviendas que contiene, de las cuales el 98 % son de protección oficial, cuentan con paneles fotovoltaicos, molinos eólicos y sistemas de biomasa. Otra experiencia innovadora es el proyecto de bulevard bioclimático del ensanche del barrio de Vallecas, en Madrid, cuya intervención tiene como objetivo realizar una gestión más eficiente de los residuos, minimizar el gasto energético, promover el intercambio social y reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, entre otras. Otros proyectos, como el de Sociópolis, en Valencia, que estaba impulsado por la Generalitat Valenciana y creó muchas expectativas, vio su final antes de ver su principio debido a la crisis económica.



El ecobarrio Vauban, en la ciudad alemana de Friburgo.

proyecto no es solo demostrar que la combinación sistemas de acondicionamiento pasivos y energías renovables puede reducir considerablemente el uso final de energía y las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera, sino garantizar el confort de las personas que trabajan en

el edificio”, dice el técnico del Ciemat. Y es que la disponibilidad de las instalaciones para los usuarios tiene que estar asegurada las 24 horas de los 365 días del año.

El proyecto PSE-Arfrisol dispone de cinco edificios experimentales en diferentes enclaves, para adaptar las tecnologías

que estudia y desarrolla a los diferentes climas de la península. El Edificio 70 se encuentra en los terrenos del Ciemat en Madrid; el SP5-F Barredo en San Pedro de Anés (Asturias), el SP6-Ceder en Soria; el SP2-Ciesol en el campus de la Universidad de Almería, y el SP4 en la Plataforma Solar de Almería.

### Rentabilidad ambiental

Serna considera bastante difícil cuantificar la rentabilidad de algunos conceptos, como el confort, el impacto o la salud de los usuarios, pero incluso en términos económicos asegura que la arquitectura sostenible ya es beneficiosa desde hace tiempo. “Instalaciones fotovoltaicas u otros sistemas de generación de energía renovable ya son rentables en Europa y podrían serlo también en España si dejaran de poner trabas e impedimentos al libre desarrollo de este tipo de instalaciones”, sostiene. La inversión necesaria en un edificio para que sea eficiente energéticamente puede incrementar su coste hasta en un 20 % respecto a otros edificios que se limitan a cumplir la normativa vigente en la materia”, dice Suraña, pero la inversión se amortiza, por la reducción de la factura eléctrica, en pocos años.

Y es que, a pesar de situarse dentro de ese grupo de países de la Europa Occidental que mejores registros ostenta en sostenibilidad, España se ha llevado un toque de atención por parte de la Unión Europea, pues sus edificios suspenden en eficiencia energética. De hecho, hasta la década de los 80 no existía normativa alguna que hiciera referencia a dicho aspecto y mientras que en 2007 países como Holanda ya imponían en su legislación el certificado de eficiencia energética, en nuestro país solo se hablaba del aislamiento térmico y se ignoraban factores tan elementales a la hora de levantar una vivienda como la orientación y la protección solar.

## En busca del ciclo cerrado

El reciclaje de los residuos generados durante los procesos de construcción y demolición de las obras, es una de las grandes asignaturas pendientes del sector en nuestro país. Y es que esta actividad representa una cuarta parte de todos los residuos que se generan en España. Una cifra muy alta teniendo en cuenta que más de la mitad de estos materiales provienen de recursos naturales. Pese a que en los últimos años se han promovido los procesos de reducción de residuos, sólo entre un 2 y un 5% de los escombros se recicla, mientras que la media de la Unión Europea se encuentra en el 28%, llegando en algunos casos, como ocurre en Holanda, casi al 90%.

“La mayoría de los casos consisten en sistemas de ciclo abierto, es decir, que los materiales se producen en masa y los residuos van a parar a vertederos o plantas incineradoras” dice Pablo Maroto, gestor de proyectos y sostenibilidad de Knauf, empresa dedicada a la fabricación de yeso laminado, un material que no se recicla en ningún punto de España. Y es que hasta el momento no se ha conseguido cerrar la última etapa del ciclo de vida de este material tan demandado y utilizado en la construcción. En la actualidad, toda la placa de yeso laminado que se vende es posteriormente destinada a vertedero junto con el resto de materiales de construcción. Por ello, la empresa ha puesto en marcha una iniciativa novedosa en nuestro país, que persigue cerrar el ciclo de vida de este material siguiendo el modelo que plantea la filosofía *Cradle to Cradle*, del químico Michael Braungart y del arquitecto William McDonough, permitiendo que el yeso reciclado vuelva a incorporarse al proceso constructivo.

“Será un largo camino para conseguir lo que marca la Directiva Europea sobre Residuos, pero, en definitiva, la industria debe ser uno de los impulsores que activen e implementen aspectos medioambientales en el diseño y producción de los materiales, para reducir los impactos, tanto durante su vida útil, como en su final de vida” concluye Maroto. 

Con retraso, y una multa importante de la Unión Europea por medio, el pasado 1 de junio, el Gobierno imponía como obligatorio para toda vivienda en venta o alquiler, el certificado de eficiencia energética, que busca favorecer la promoción de edificios que adopten medidas para reducir las emisiones y mejorar su calificación energética. No obstante, debido a la batalla de precios y al caos existente aún, por parte de las administraciones, en la gestión de esta medida, muchos profesionales, como Suraña, son escépticos sobre su efectividad: “la intención es buena, pero la

forma de ejecutarlo lo es menos, tanto por las herramientas de certificación como por la cualificación exigida para los certificadores”.

Y es que el Gobierno ha habilitado hasta 17 titulaciones competentes para hacer la certificación energética de edificios existentes. “Muchas de ellas con escasos conocimientos en edificación e instalaciones, con lo que más que buscar la mejora energética de los edificios parece que se quiere empujar a los técnicos a una batalla de precios. Es absurdo que hayan aparecido ofertas en Internet que ofrecen certificados energéticos



Edificio CIESOL del Cimat en la Universidad de Almería.



Sede del Centro de Investigación y Recursos Energéticos de la Universidad de Zaragoza.



Cara sur del edificio 70 del Cimat en Madrid.

en los que ni si quiera se visitan los inmuebles para la toma de datos y, claro está, a precios irrisorios”, añade el arquitecto.

Además de la lucha de precios entre peritos y plataformas, las comunidades autónomas, encargadas de crear los registros de estos certificados y de vigilar que las calificaciones sean correctas, llevan ritmos muy diferentes: hay provincias donde ya se han tramitado sanciones y otras que no han abierto aún el registro. “Por otro lado, la realidad de la situación inmobiliaria en nuestro país, crisis aparte, es que, dentro de los factores de elección que la mayoría de usuarios manejan para la adquisición de su vivienda, el factor de la eficiencia energética es el último después del coste, de la localización, de los acabados, incluso de la estética”, comenta Francisco Serna. Sin embargo, se muestra optimista hacia el futuro de la edificación verde: “técnicamente se han superado ya los obstáculos para hacer edificios autosuficientes. En muy pocos años, con el actual ritmo de incremento del precio de la energía y la disminución de los costes en los sistemas de almacenamiento de energía, el autoabastecimiento energético será rentable”.

“Puede que el tipo de construcción que se viene haciendo, sin atender a criterios de construcción sostenible y bioclimática necesite una menor inversión inicial pero hay que empezar a cambiar el chip. Hoy en día está de moda ser verde, y los adjetivos del tipo sostenible están muy prostituidos” comenta Suraña. La sostenibilidad implica mucho más que un cambio en las infraestructuras en las que pasamos más del 90 % de nuestro tiempo. La sostenibilidad comienza por un cambio en nuestra actividad de consumo y estilo de vida. “Tenemos que echar el freno si no queremos dejar a las próximas generaciones un mundo considerablemente peor que el que hemos disfrutado nosotros”, concluye Suraña. 

Herederos de la antigua Junta de Energía Nuclear, el Ciemat lleva más de 60 años investigando diferentes aspectos relacionados con el uso pacífico de la energía atómica

## El *alma mater* de los nucleares españoles

De aquí surgieron los tres descendientes que se ocupan hoy de la primera parte del ciclo, de la última y de la regulación; es decir, Enusa, Enresa y el Consejo de Seguridad Nuclear. Pero, además, un porcentaje muy elevado de quienes han trabajado en el mundo de la fisión nuclear ha pasado también por este pequeño poblado enclavado en la Ciudad Universitaria, en Ma-

drid. Es el Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat), la antigua Junta de Energía Nuclear, la primera institución que se ocupó en España de cuestiones nucleares y que ya ha cumplido 60 años. Y se conserva en plena forma, aunque con el punto de mira más ampliado.

■ Texto: **Antonio Calvo Roy** | periodista científico ■

**E**n el Ciemat trabajan hoy 1.350 personas, unas 200 de ellas centradas en cuestiones que tienen que ver con el mundo nuclear. Es un organismo público de investigación que depende del Ministerio de Economía y Competitividad y que está dedicado a la investigación en energía y en sus efectos sobre el medio ambiente y las personas; además de llevar a cabo también investigaciones básicas en física de altas energías y biología celular. En lo que respecta al mundo energético, se centra en lo relacionado con el mundo nuclear, las energías renovables y la combustión de recursos fósiles.

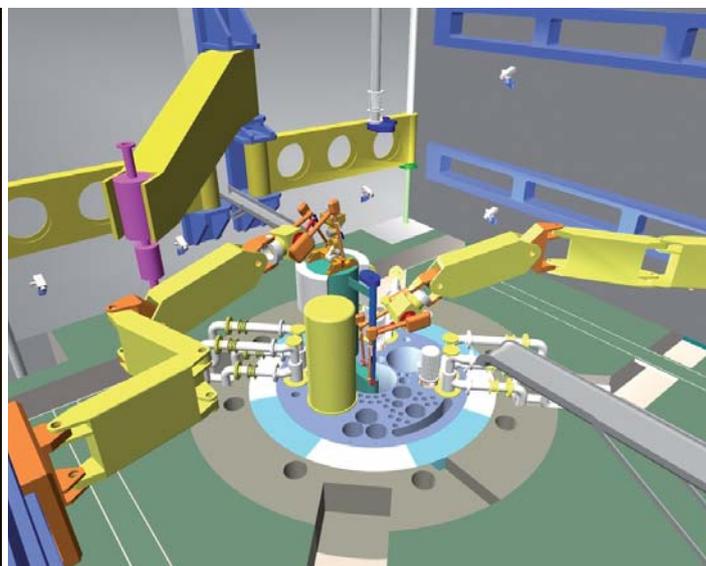
Dentro de la división de fisión nuclear, el Ciemat está presente en diversos programas de investigación, que incluyen, por ejemplo, los relacionados con seguridad nuclear, tanto en centrales como para dar servicio al CSN, a Enresa —la empresa que gestiona los residuos radiactivos españoles— y al resto del sector nuclear. Para Ramón Gavela, director general adjunto y también director del Departamento de Energía, “la seguridad nuclear siempre es una prioridad para nosotros, y por eso participamos en mu-



Vista aérea general de las instalaciones del Ciemat en la Ciudad Universitaria de Madrid.

chos proyectos en este campo. Por ejemplo, últimamente estamos trabajando en accidentes severos, porque se ha visto que pueden llegar a acumularse varios agentes causantes que incrementan la gravedad del suceso”. En esta línea, continúa Gavela, “estamos, por ejemplo, trabajando para el CSN en el proyecto lanzado por la Agencia de Energía Nuclear (NEA/OCDE) tras el desastre de Fukus-

hima. Colaboran en él laboratorios seleccionados de nueve países, que elaboran diferentes modelizaciones del accidente que permitirán conocer el estado actual de los sistemas, para discutir y contrastar las conclusiones alcanzadas”. Se espera que los resultados de este proyecto ayuden a planificar mejor las operaciones de limpieza y desmantelamiento de las centrales nucleares afectadas.

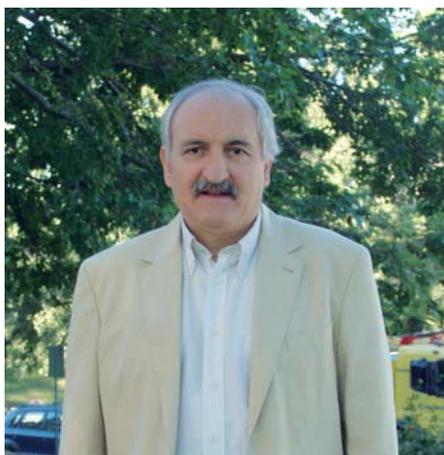


El reactor experimental de la Junta de Energía Nuclear, actualmente desmantelado. A la derecha, esquema de la instalación MYRRHA, en la que colabora el Ciemat.

En la última parte del ciclo, el Ciemat también investiga para Enresa, en cuestiones relacionadas con la gestión de residuos, tanto los de media y baja actividad como los de alta; por ejemplo, en comportamiento del combustible gastado en contenedores. “También estamos presentes, dice Gavela, en los estudios sobre el almacenamiento geológico profundo, una cuestión que va tomando cierto cuerpo en Europa en apoyo a los programas más avanzados de gestión definitiva de residuos de alta, que son los de Finlandia, Suecia y Francia. Trabajamos en hidrogeno y química, barreras artificiales para el confinamiento de los radionucleidos, y barreras naturales, sobre todo en granito y, algo menos, en arcillas.”

La investigación que realizan también mira al futuro. “Estamos presentes en los desarrollos de los nuevos conceptos de la cuarta generación de reactores nucleares”, prosigue Gavela. En este

campo, los expertos del Ciemat, en colaboración con el resto de laboratorios de investigación y empresas europeas integradas en el marco del SET Plan, centran sus esfuerzos en los tres objetivos de la nueva energía nuclear: primero, en la seguridad, “con el concepto del incremento de la seguridad a ultranza, basada en las múltiples barreras y en fenómenos físicos inevitables, los elementos pasivos que, por ejemplo, eviten que se pueda perder la refrigeración en cualquier circunstancia.”



Ramón Gavela, director del Departamento de Energía.

En segundo lugar, en la gestión de los residuos radiactivos, porque “aunque en este campo la gestión definitiva a través del AGP tiene un camino técnico bien trazado para la generación actual de reactores, es importante ir más allá: tratar de reducir la cantidad de residuos que es necesario almacenar definitivamente y desarrollar las tecnologías avanzadas de partición y transmutación”, dice Gavela.

Y, en tercer lugar, en este centro se investiga en la resistencia frente a la proliferación de armamento, como un elemento de los procesos de separación de radionucleidos, para evitar que se pueda utilizar el plutonio de las centrales nucleares para usos bélicos.

El Ciemat está también presente en el diseño de los dos tipos de nuevos reactores rápidos de la cuarta generación, en los que se está trabajando en Europa: el reactor de sodio, impulsado por Francia a través del proyecto ASTRID; y el reactor rápido refrigerado por plomo, para el que se está desarrollando la instalación MYRRHA, en Bélgica —conjunto subcrítico asistido por un acelerador que servirá de soporte tecnológico al futuro reactor de demostración, al tiempo que desarrollará tecnologías de transmutación—.

En la División de Energía Nuclear del Ciemat, que forma parte del Departamento de Energía, junto con otras tecnologías energéticas, trabajan unas 90 personas. Además, dentro del Departamento de Tecnología se investiga en una línea de materiales estructurales de uso variado dentro del campo de la energía, especialmente en las centrales nucleares: vasija del reactor, elementos internos y otros componentes mecánicos sometidos

a presión. Se trata de estudiar la resistencia de estos materiales frente a la radiación y al resto de cargas mecánicas. El objetivo de estas investigaciones es tanto de seguridad en la operación de las centrales nucleares existentes, como para garantizar el comportamiento en el caso de alargamiento de vida.

Por su parte, en el Departamento de Medio Ambiente también se investiga en cuestiones relacionadas con la energía nuclear, especialmente en todo lo que tiene que ver con la protección radiológica y los efectos medioambientales de la radiación, dispersión de los residuos en diferentes medios y su posible efecto sobre las personas y otros seres vivos. También hay especialistas en limpieza y descontaminación de edificios y terrenos, unas técnicas aprendidas en buena medida en las propias instalaciones del Ciemat, en la madrileña Ciudad Universitaria, porque durante mucho tiempo fue allí donde se realizaba toda la investigación nuclear española. En este centro se desarrollaron muchas instalaciones nucleares y radiactivas de experimentación, incluido el reactor experimental JEN-I, que se ha desmantelado al mismo tiempo que se han limpiado las instalaciones.

En el campo internacional, el Ciemat tiene una amplia colaboración con los centros de investigación nuclear de Europa y el mundo. También con sus investigaciones en física de altas energías ha liderado la presencia

española en el CERN y, en buena medida, ha sido responsable del regreso de nuestro país, en los años 80, a este gran

Gavela, de “investigaciones de nivel muy alto, que han contribuido al prestigio de España en este campo”.

Otro de los temas a los que el centro ha dedicado más atención, y que han tenido también gran repercusión en los medios, es la investigación en fusión nuclear; la eterna promesa de conseguir una fuente de energía abundante y barata, que todavía plantea numerosos obstáculos tecnológicos para hacerse realidad. El Ciemat cuenta con el Laboratorio Nacional de Fusión, que entre otros medios dispone de una instalación especial, el reactor TJ-II, un equipo de confinamiento magnético tipo *stellarator*, que se utiliza para el estudio del comportamiento del plasma. Además, el laboratorio mantiene una amplia colaboración con el International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER), que pretende mostrar la viabilidad científica y técnica de la fusión nuclear con un reactor, de tipo *tokamak*, que se está construyendo en Cadarache (Francia) y en el que participan la Unión Europea, Japón, Estados Unidos, Rusia, China, India y Corea del Sur. La participación española en el proyecto es destacada, ya que Barcelona alberga la sede de *Fusion For Energy*, que es una pieza clave en el proyecto ITER para la gestión de las compras europeas de esta instalación, y esa participación destacada “se debe, en buena medida, a los esfuerzos que durante muchos años ha venido haciendo el Ciemat en este proyecto y en general



Algunas de las instalaciones del Ciemat en las que se estudia la seguridad nuclear y se caracterizan materiales y residuos radiactivos.

laboratorio, situado entre la frontera de Francia y Suiza. Se trata, según Ramón

Ciemat en este proyecto y en general

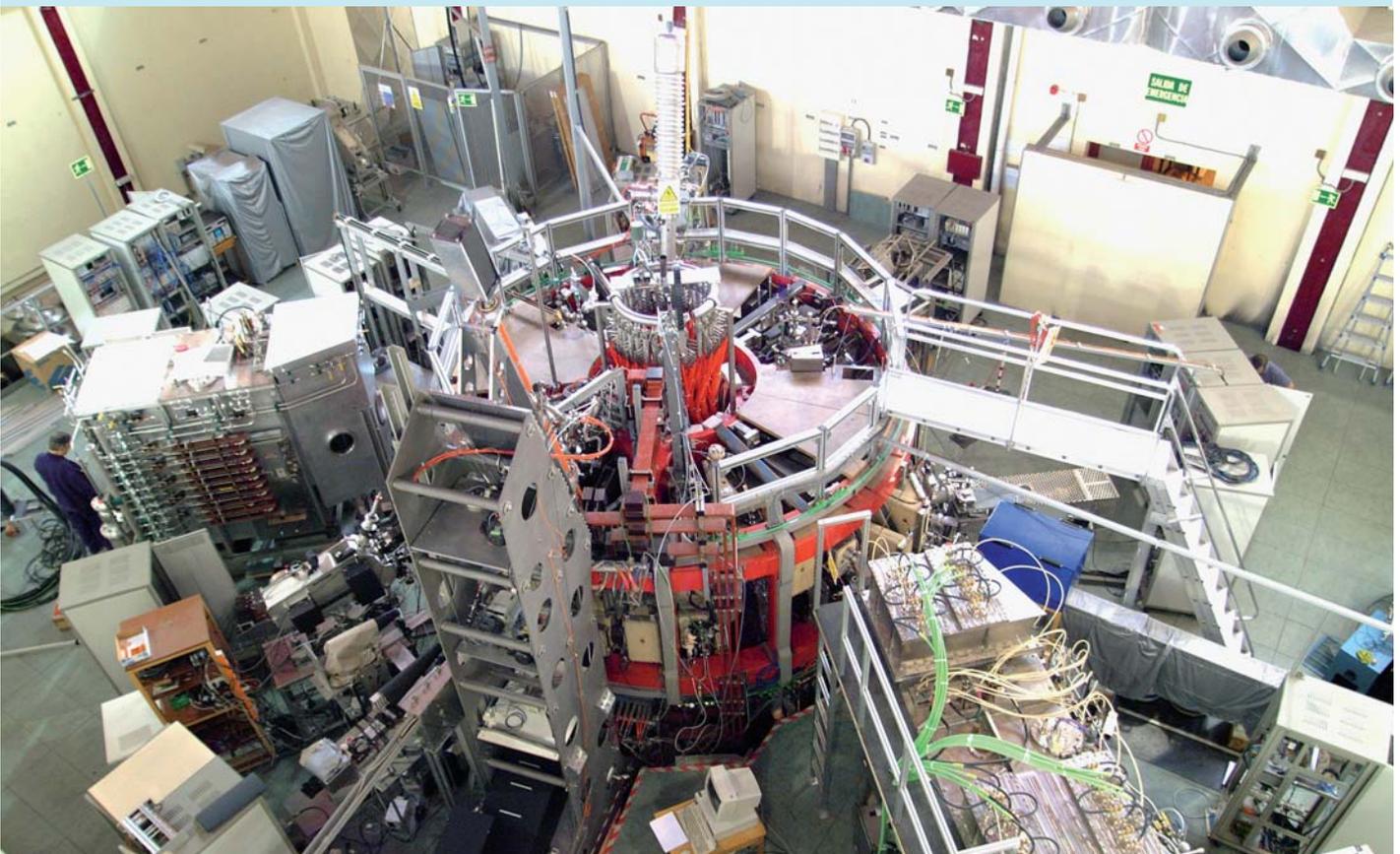
## 60 años de investigación nuclear

La utilización de la energía atómica cambió el mundo. El uso pacífico de la energía nuclear, cuya simbólica fecha de partida es el discurso “Átomos para la paz” que pronunció el presidente de EEUU Dwight D. Eisenhower en las Naciones Unidas en diciembre de 1953, se apoyó principalmente en nuestro país en la Junta de Energía Nuclear, creada en 1951. Entonces “tenía todas las competencias del mundo nuclear”, dice Ramón Gavela. “Por ejemplo, las de la primera parte del ciclo del combustible, particularmente las de la minería del uranio, cuando se consideraba que España tenía las reservas mineras más importantes de Europa”. Además, en la Junta estaban también las competencias de regulación y las de la última parte del ciclo, la gestión y el tratamiento de los residuos radiactivos.

Enusa fue la primera empresa en desgajarse de su matriz, y lo hizo en 1972. Más tarde, en 1980, se creó el CSN, y en buena medida, sobre todo en los aspectos relacionados con la protección radiológica, sus técnicos se reclutaron entre los de la Junta, donde residía entonces el conoci-

miento español en este campo. Y, finalmente, en 1984, se creó Enresa para ocuparse, con el apoyo tecnológico de la Junta de Energía Nuclear, de la gestión de los residuos de las instalaciones nucleares y radiactivas del país. Tanto en Enusa como en Enresa, el Ciemat forma parte de la propiedad de las empresas y tiene representación en sus consejos de administración.

Poco después, en 1986, la Junta pasó a llamarse Ciemat, Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas, y amplió sus investigaciones a otras áreas del mundo energético, aunque manteniendo, eso sí, una estrecha vinculación con el mundo nuclear, que había sido su origen. Sus líneas de investigación principales se centran en el estudio, desarrollo y optimización técnica de las distintas fuentes de energía, desde las renovables hasta la fusión nuclear, pasando por la fisión y los combustibles fósiles. Además, trabajan también en el estudio del impacto en el medio ambiente de las diversas energías y en el desarrollo de nuevas tecnologías en estos campos. Por último, en el Ciemat se trabaja también en física de altas energías y biomedicina, dos líneas que se mantienen en el centro por razones históricas y por la excelencia de sus investigaciones. ▀



El reactor TJ-II, en el que se estudia el comportamiento del plasma, dentro de las investigaciones realizadas en fusión nuclear.

## La vieja alquimia, la moderna transmutación

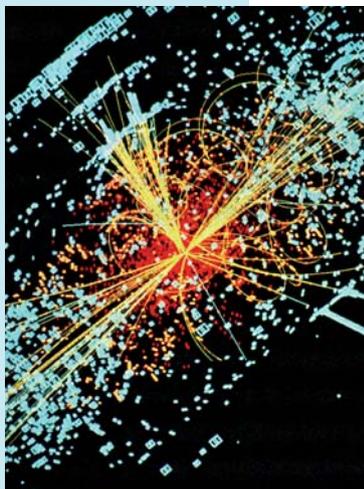
La idea que animaba a los alquimistas era la conversión de algún mineral, el que fuera, en oro. Por supuesto, nunca dieron con la fórmula, sencillamente porque no existe. Sin embargo, los químicos y los físicos de hoy llevan a cabo procesos de transmutación que cambian un elemento en otro. No es convertir el hierro o el plomo en oro, pero es hacer de un residuo algo útil, de manera que haya menos basura y, al mismo tiempo, se pueda disponer de más energía.

La transmutación, una tecnología en la que el Ciemat investiga colaborando en proyectos internacionales, es el tratamiento de los residuos del combustible gastado en las centrales nucleares, para separar sus diferentes componentes y tratarlos para convertirlos en isótopos más ligeros y aprovechar la energía que aún contienen como parte de un nuevo combustible nuclear. De esta manera se reduce el problema del almacenamiento de los residuos y se obtiene un beneficio energético.

Entre los expertos hay consenso en que el combustible nuclear tiene que evolucionar. Hoy se utiliza el uranio-235 en pequeñas cantidades; solo se aprovecha el 0,5 % del mineral en su forma natural, y al ritmo de consumo actual, tenemos reservas solo para 60 años. Y si quiere ser una energía masiva habrá que utilizar otros combustibles, como el uranio-238 y el torio, con el cual tendríamos reservas para 20.000 años. Pero eso exige la utilización de otro tipo de reactores, particularmente con neutrones rápidos, no neutrones térmicos. Todo eso se está diseñando a nivel europeo y mundial.

En el caso de la transmutación, se tiene ya un diseño de metodología probada mediante la utilización de aceleradores. Es lo que se llama sistema asistido por acelerador, y está ya perfectamente estudiado, desde el punto de vista conceptual, en todos los elementos, incluso las rentabilidades en cuanto a eficacia de transmutación. Pero hay que demostrar algunas de las tecnologías que podrían hacer práctico ese diseño, tecnologías que están en marcha desde hace años con seis proyectos europeos de la Unión Europea, cada uno de los cuales pretende probar alguna de esas tecnologías que podrían permitir que todo el sistema funcionara.

Por eso se están llevando a cabo trabajos de investigación y desarrollo en la gestión de los residuos nucleares para separar tanto los actínidos transuránicos como los productos de la fisión. Con una tecnología adecuada sería posible su reutilización para producir energía durante su transmutación en isótopos diferentes, de vida mucho más corta. Al fisiónar de nuevo el producto de la primera fisión nuclear se obtienen isótopos cuyo periodo de semidesintegración es de decenas o cientos de años, y no de miles o millones como en el caso de algunos componentes del combustible gastado. Con ello el problema de la gestión de residuos cambia radicalmente. ▶



en la investigación sobre la fusión termonuclear”, dice Gavela.

El Ciemat es el organismo responsable de la participación española en los proyectos del Broader Approach to Fusion, que incluye las instalaciones de IFMIF y el *tokamak JT60*. La IFMIF (International Fusion Materials Irradiation Facility) es una instalación para generar neutrones energéticos, que se usarán para probar los materia-

les de los futuros reactores de fusión, basada en un acelerador de deuterones que inciden sobre un blanco de litio. Por su parte, el JT60 será un dispositivo *tokamak*, que se está construyendo en Japón, para desarrollar los denominados escenarios avanzados de operación, con alto confinamiento de la energía y cercanos al estado estacionario.

También entre sus instalaciones incluye el Ciemat el Laboratorio Nacional de Referencia para la Metrología de las Radiaciones Ionizantes, que mantiene los patrones para calibrar los equipos de medida de la radiación utilizados en el país, tanto en la industria nuclear como en medicina, investigación y otras industrias. También realiza transferencia de tecnología en este campo.

Y, por último, no es posible olvidar la importancia del Ciemat como centro de formación de quienes en España se han dedicado a las cuestiones nucleares. Durante muchos años era el único centro, junto a algunas escuelas de ingenieros industriales y algunas universidades, en donde había un alto nivel de formación en el campo nuclear. Tanto en protección radiológica como en dosimetría y seguridad nuclear, el Ciemat sigue siendo un lugar de referencia no solo por su historia, la más notable en nuestro país, sino por su presente y su futuro. ©

Vigésimo aniversario del uso de la resonancia magnética nuclear funcional en el estudio del cerebro en funcionamiento

# La mente humana en diez instantáneas

El estudio del cerebro continúa siendo el mayor desafío que la ciencia tiene planteado. Entender cómo funciona el órgano que nos permite sentir, pensar, imaginar, aprender e incluso inventar no es una tarea fácil; tanto que muchos consideran que necesitaremos todo el siglo XXI para completarla. Otros creen que nunca lo conseguiremos. Sin embargo, la neurociencia ha dado algunos pasos de gigante durante las dos últimas décadas, gracias al empleo de nuevas herramientas. Entre ellas destacan la resonancia magnética nuclear funcional (RMNf): una herramienta no invasiva para obtener imágenes del organismo en tiempo real, que permite registrar la actividad cerebral midiendo cómo cambia el flujo de sangre hacia distintas regiones del cerebro.

■ Texto: **Elena Sanz** | periodista científica ■

En esencia, el funcionamiento de la resonancia magnética nuclear es bastante simple: la neuroimagen que se obtiene se consigue gracias a los efectos que produce un intenso campo magnético y los generados por una serie de ondas de radio sobre el hidrógeno de las moléculas de agua presentes en todas las estructuras corporales blandas, incluidas las neuronas. La clave de esta tecnología es que el núcleo de hidrógeno está formado por un solo protón, que se comporta como un minúsculo imán que gira sobre su eje como respuesta a los campos magnéticos.

El cuerpo humano tiene billones de estos pequeños imanes que, en ausencia de dicho campo magnético externo, se orientan al azar. Al realizar una resonancia, se coloca al paciente en el interior de las bobinas de un potente electroimán que genera un campo magnético entre 10.000 y 30.000 veces más potente que el campo magnético terrestre. Esto obliga a los núcleos de hidrógeno a alinear sus sentidos de giro en paralelo al nuevo campo magnético. Y cuando el campo se interrumpe se genera una corriente eléctrica y se obtiene una imagen. Lo mismo ocurre cuando generamos breves pulsos de radio que hacen que los protones giren como peonzas que luego regresan a su posición. Con estos campos magnéticos se obtienen lecturas bidimensionales o tridimensionales del cerebro humano. Y si durante el ejercicio se realiza alguna actividad concreta, nos permite localizar la zona implicada en dicha actividad.

Si el desarrollo tecnológico se hubiese quedado aquí, únicamente tendríamos información sobre cómo es la anatomía cerebral, sana o enferma. Pero hace exactamente dos décadas se descubrió que cuando una zona del cerebro procesa información o envía órdenes, los vasos sanguíneos se expanden y las neuronas reciben un aporte extra de oxígeno

DEPOSITPHOTOS



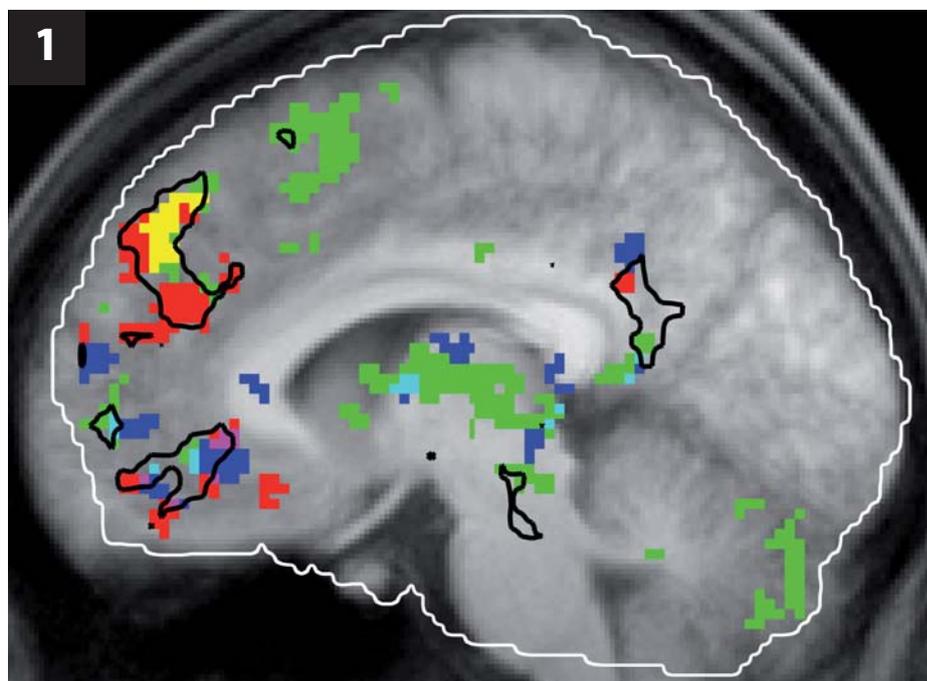
que se puede medir con resonancia magnética. Es lo que se conoce como resonancia magnética nuclear funcional (RMNF), que permite localizar las regiones funcionales en el cerebro ligadas a una actividad mental concreta. Analizando con esta técnica a muchas personas mientras desempeñan la misma tarea, los neurocientíficos están alcanzando un conocimiento profundo sobre cómo trabaja nuestro cerebro.

Conviene, con todo, evitar caer en la tentación del exceso de localizacionismo. Muchos cartógrafos del cerebro defienden que, si bien existen grupos de neuronas especializados en ciertas funciones, el cerebro funciona como un todo, sin que podamos identificar un área específica donde ubicar la inteligencia, el lenguaje o las emociones. Dicho de otro modo: las actividades cognitivas complejas implican la acción conjunta de multitud de centros neuronales en ambos hemisferios cerebrales. De hecho, si una zona de nuestro órgano pensante se daña, la función que realizaba hasta el momento no desaparece necesariamente: puede ser desempeñada por otras neuronas.

Como muestrario de lo que la RMNF es capaz de hacer, hemos seleccionado diez instantáneas obtenidas mediante esta tecnología durante otras tantas funciones o actividades cerebrales.

## 1. Música, memoria y emoción

Suena una melodía en la radio, la tarareas e, inmediatamente, te sientes transportado a un momento concreto de tu juventud que recuerdas con sumo detalle, como si alguien hubiese rebobinado la película de tu vida. Se trata de una sensación que todos los seres humanos hemos experimentado en alguna ocasión, pero ¿por qué la música tiene la capacidad de evocar recuerdos de una manera tan vívida? Es la pregunta que intentaron responder Petr Janata y sus

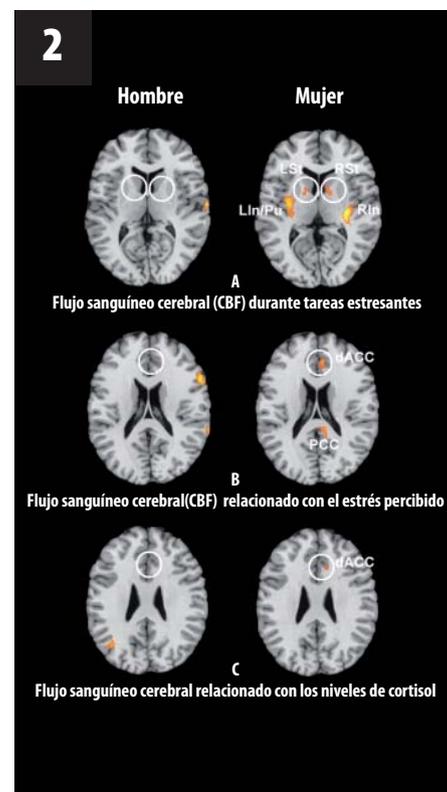


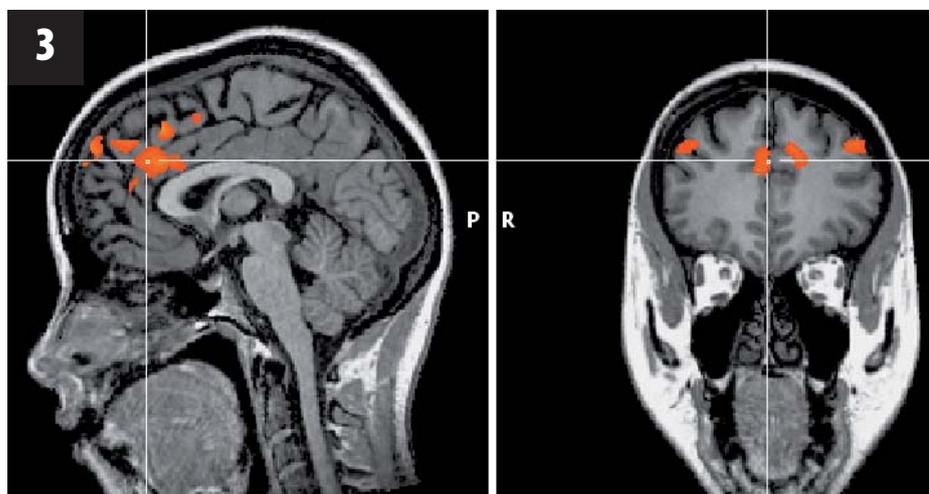
colegas del Centro para la Mente y el Cerebro de la Universidad de California (EE UU) usando imágenes obtenidas mediante resonancia magnética funcional. Y así fue como localizaron en la corteza prefrontal medial una región (en amarillo en la imagen superior) donde, además de almacenarse la memoria autobiográfica, se cruzan neuronas que se activan cuando escuchamos música que nos resulta familiar, neuronas ligadas a las emociones y células nerviosas que almacenan los recuerdos de momentos vividos con especial intensidad. Esa confluencia de caminos hace que ciertas canciones sean capaces de disparar un torrente de recuerdos.

## 2. Respuestas al estrés

Cuando un varón se estresa, la sangre fluye masivamente hacia la corteza orbitofrontal izquierda, que se encarga de activar el sistema de lucha o huida, que tensa los músculos y aumenta el ritmo de los latidos del corazón para dar una respuesta rápida y enérgica. Pero si quien se somete a una situación estresante es una mujer, las neuronas que entran en ebullición son las situadas en el sistema

límbico, una región asociada a las emociones y que desencadena una respuesta más amistosa y atenta, tal y como demostraron hace poco, con ayuda de estas neuroimágenes, Jiongiong Wang y sus colegas de la Universidad de Pennsylvania (EE UU).





### 3. Cuando perdemos el control

Cada vez que sientes la tentación de hacer algo que no deberías hacer, una zona de tu cerebro llamada corteza cingulada anterior se pone en marcha. Según el neurocientífico William Hedgcock, las neuronas de esta región de nuestro órgano pensante son las que reconocen que está ocurriendo algo que “puede generar muchas respuestas y no todas son igual de adecuadas”. En esta situación, el encargado de tomar las riendas debería ser el córtex prefrontal dorsolateral, que “en vez de hacer una tontería elegiría la opción más inteligente, la que más autocontrol requiere”, según explica

Hedgcock. Por ejemplo, tomar fruta saludable en vez de un pastel de crema, grasa y azúcar para saciar el hambre. Lo malo es que cuando estamos cansados mentalmente o hemos ejercitado demasiado autocontrol previamente, esta zona no se activa y, aunque la corteza cingulada sigue dando la voz de alarma, no podemos dominar nuestros impulsos y, por tanto, elegir la opción que más nos conviene. El retrato de nuestro cerebro sin autocontrol es el que muestra esta imagen.

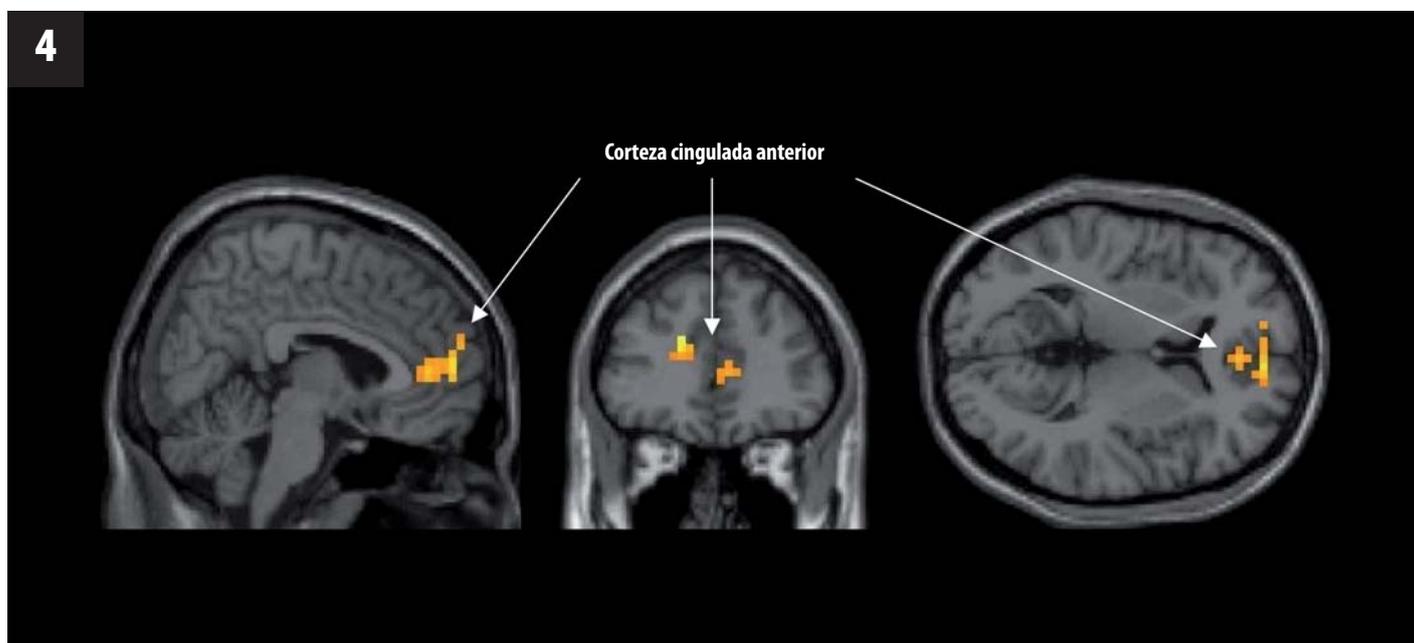
### 4. La memoria de los cafeteros

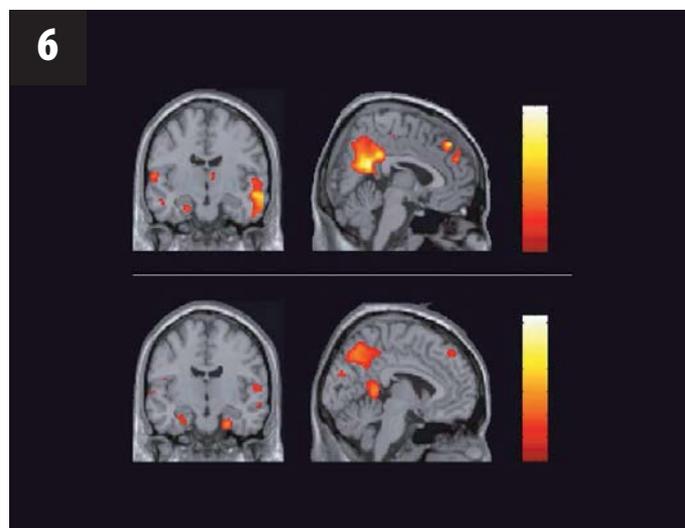
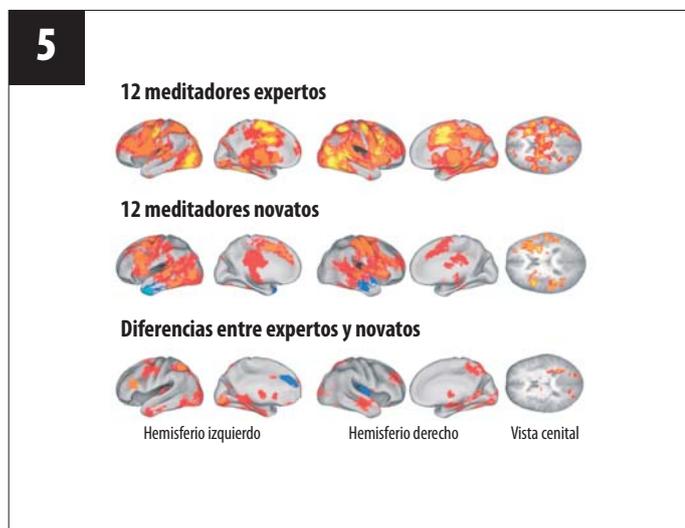
Gracias a las técnicas de RMNf, en 2005 un equipo de científicos austriacos

demonstró que la cafeína modula el funcionamiento de la memoria a corto plazo. En concreto, analizando cómo afectaba la popular bebida a varios voluntarios sanos a la hora de recordar imágenes que acababan de ver, los científicos comprobaron que los que habían ingerido 100 miligramos de cafeína (el equivalente a dos tazas de café) aumentaban la actividad en el lóbulo frontal, que es donde reside parte de la memoria de trabajo, y en el cíngulo anterior, una zona del cerebro que controla la atención.

### 5. Meditar o no meditar

Cuando meditas, tu cerebro cambia. Si acaso cabía alguna duda, Richard Davidson y sus colegas de la Universidad de Wisconsin-Madison (EE UU) la despejaron comparando la actividad cerebral de sujetos que acababan de aprender a meditar profundamente con la de monjes budistas veteranos que tenían hasta 54.000 horas de experiencia en esta práctica. Entre los meditadores experimentados, el escáner captó mayor actividad en los circuitos cerebrales involucrados en el control y regulación de la atención, como la corteza prefrontal. “La concentración sin esfuerzo está descrita en los





textos clásicos sobre meditación”, aseguraba Davidson. “Y este hallazgo neuronal lo corrobora”, concluía. Mientras los voluntarios se encontraban dentro del escáner de resonancia magnética nuclear funcional, los investigadores les *atacaban* con ruidos molestos. Entre los meditadores experimentados, estos sonidos tuvieron menos efecto sobre las áreas cerebrales involucradas en las emociones y en la toma de decisiones que entre los neófitos, tal y como explicaban los autores del estudio en la revista *PNAS*.

### 6. Enamorado hasta las neuronas

El amor romántico activa los mismos centros de recompensa que se ponen en funcionamiento cuando ganamos dinero o vencemos en una partida de videojuego. También se activan las zonas productoras de dos neurotransmisores, la vasopresina y la oxitocina (conocida como la hormona del amor), implicadas en la formación de vínculos emocionales. Pero tan importante como saber qué regiones se activan cuando amamos es identificar qué zonas se mantienen en absoluto reposo, como por ejemplo las

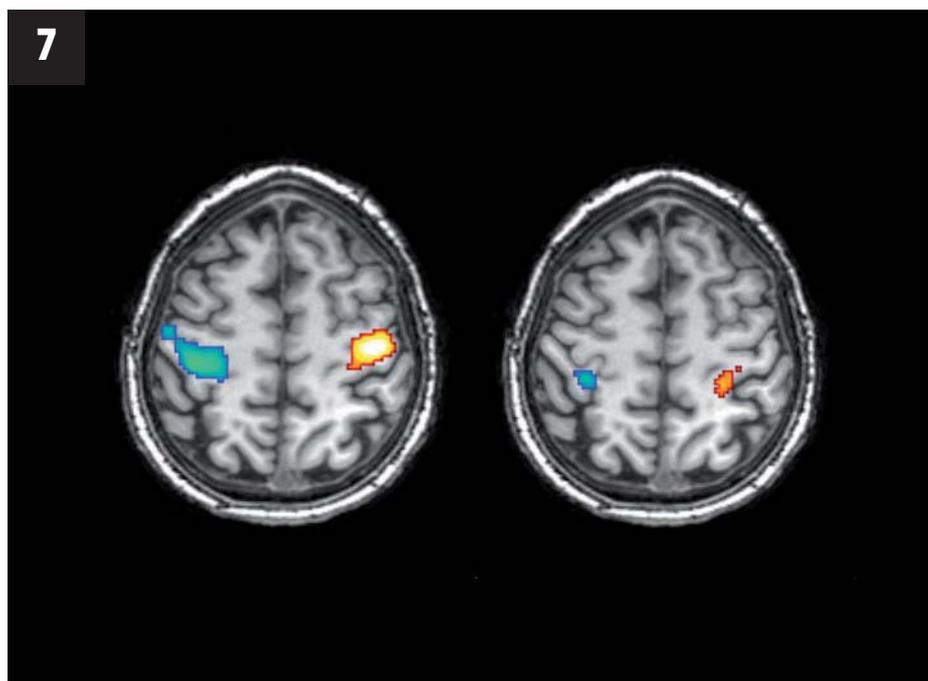
implicadas en los juicios morales, tal y como muestra la imagen. Y lo mismo ocurre en el cerebro que siente amor maternal. Eso explicaría, a nivel neuronal, por qué “el amor es ciego” hacia los defectos de nuestras parejas e hijos.

### 7. ¿Dormido o despierto?

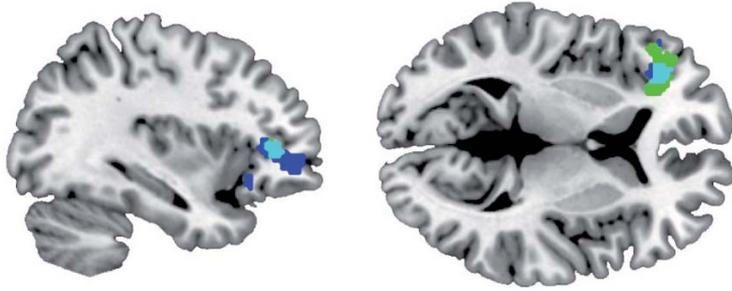
La imagen de la izquierda muestra el cerebro de una persona que está moviendo las manos. Y la de la derecha es del mismo sujeto soñando que mueve sus manos. ¿Significa eso que el cerebro se activa en sueños de modo idéntico a como lo hace durante la vigilia? Científicos del Instituto de Psiquiatría Max Planck, en Berlín (Alemania), sospechan que sí. Trabajando con personas capaces de tener sueños lúcidos, obtuvieron imágenes como esta, que revela que “soñar no es simplemente ver la película de un sueño”, como explica Martin Dresler, autor principal del estudio. “Las regiones del cerebro que están relacionadas con los movimientos corporales se activan al soñar”, añade el experto. Aunque nuestros cuerpos no se muevan.

### 8. Después de la contienda

Que los soldados vuelven de la guerra con el cerebro cambiado es algo que Guido van Wingen, de la Universidad



8



Radboud (Holanda), ha demostrado científicamente usando imágenes como esta, obtenida mediante RMNf. En concreto, un estudio con 22 soldados destinados en Afganistán mostró que sus habilidades y sus cerebros eran distintos antes y después de acudir a la contienda y lidiar con ataques de francotiradores, amenazas de bomba y la sensación permanente de inseguridad. En concreto, casi todos presentaban cambios tanto en la función como en la estructura del mesencéfalo, que une y comunica el cerebro con la médula espinal y el resto del sistema nervioso, y suministra al córtex prefrontal un neurotransmisor clave para el funcionamiento ejecutivo, la

dopamina. En la mayor parte de los casos, habían visto reducido su rendimiento cognitivo de forma evidente. Y aunque un año y medio más tarde habían recuperado la normalidad, había conexiones perdidas para siempre, lo que hace que estos individuos sean más sensibles al estrés y al déficit cognitivo.

**9. Ases de la improvisación**

“No le temo a la muerte, / creo que es otra vida, / más le temo a la sociedad, / provoca más heridas“, improvisaba un rapero. La improvisación y el ritmo son las claves del *freestyle rap*, un estilo musical en el que la letra se inventa sobre la marcha. Científicos de los Institutos Nacio-

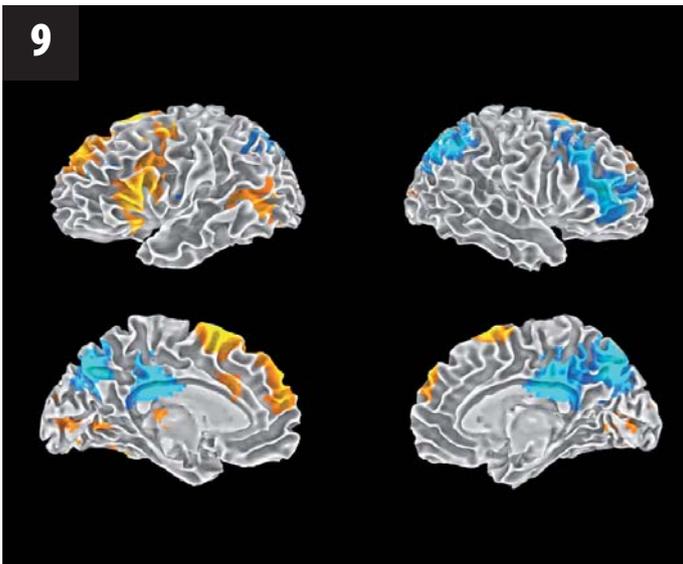
nales de Salud de Estados Unidos publicaron el año pasado un estudio en el que analizaban la actividad del cerebro de los raperos en estos momentos de improvisación musical y lírica simultánea. Los escáneres mostraron que para generar ideas nuevas era necesario que se

desactivara la corteza prefrontal dorso-lateral, una región cerebral situada detrás de la frente, responsable de los procesos de toma de decisiones y de control de las emociones, que cuando está funcionando inhibe la creatividad. Por el contrario, improvisar letras de rap aumenta la actividad de las neuronas de la corteza prefrontal medial, donde residen la creatividad y la espontaneidad, algo que también sucede en el cerebro de los músicos de jazz.

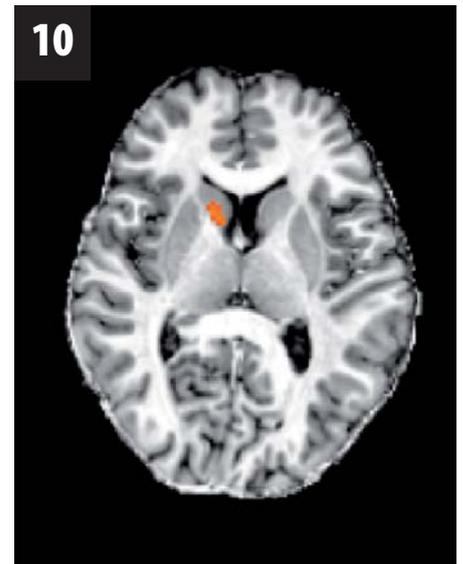
**10. Lo que nos hace expertos**

La región del cerebro coloreada en esta imagen es la que distingue a un experto de un profano. Al menos cuando hablamos de expertos en *shogi* o ajedrez japonés, según demostraron hace poco investigadores del Instituto de Ciencia Cerebral Riken, en Japón. Los profesionales del *shogi* entrenan durante tres o cuatro horas al día, a lo largo de al menos una década, para lograr la habilidad que se requiere para jugar con suficiente nivel. Y eso se traduce en una activación significativa en el área del núcleo, causado mientras llevan a cabo sus jugadas rápidas (y normalmente ciertas), que no se detecta en la sesera de los aficionados cuando eligen a toda velocidad su siguiente jugada. ©

9



10



15 años después del incidente de Acerinox, España es un ejemplo mundial en la vigilancia de fuentes radiactivas en las acerías

## Reciclado metálico sin sorpresas



Vista aérea de las instalaciones de Acerinox en Algeciras (Cádiz).

Máquinas para realizar diagnósticos médicos o tratamientos radiológicos, detectores de humos, sistemas de control y medición, equipos industriales, laboratorios de investigación... numerosas actividades utilizan fuentes radiactivas para realizar diversidad de funciones. Si cuando terminan su vida útil no son gestionadas adecuadamente, pueden acabar mezcladas con materiales metálicos destinados al reciclaje y contaminar todo el material reprocesado con ellas. Es

lo que sucedió en la planta de Acerinox en Cádiz, en 1998, y que provocó una nube radiactiva. A partir de este incidente, la cooperación entre la industria y los organismos de vigilancia y gestión de residuos radiactivos dio lugar a la firma de un protocolo voluntario que ha convertido a España en una referencia internacional en la detección de fuentes radiactivas entre los residuos metálicos reciclables. ■ Texto: **Daniel Mediavilla** | periodista científico y redactor de *Materia* ■



En mayo de este año, la compañía de ropa *online* Asos tuvo que retirar 641 cinturones de su catálogo después de que se encontrase material radiactivo en sus hebillas. Los cinturones estaban contaminados con cobalto-60, un isótopo radiactivo que puede ser perjudicial para la salud. Ese mismo elemento se había encontrado en 2008 en los botones de ascensores, montados por la empresa Otis, llegados desde Francia.

En ambos casos, el origen de la contaminación se encontró en acerías indias. Estas empresas, en ocasiones, toman su materia prima del desguace de barcos en cuyas bodegas llevan medidores de nivel que utilizan isótopos radiactivos, y si el desmantelamiento de los barcos y el procesado de los residuos no se hacen con cuidado, esos materiales radiactivos pueden acabar en todo tipo de productos de uso diario.

Los dos ejemplos anteriores muestran la importancia de un control adecuado del reciclaje de metal. En los últimos 50 años, se han sacado al mercado medio millón de fuentes radiactivas para multitud de usos, desde el tratamiento de alimentos hasta la medición del firme de las carreteras. La mala gestión de este tipo de equipamiento cuando se convierte en residuo puede poner en peligro la salud de los ciudadanos y dañar a la industria del reciclaje de metal, que en todo el mundo mueve más de 100.000 millones de euros. La ONU lleva años intentando mejorar el control de las fuentes radiactivas y el sistema que ha implantado en España desde 1999 supone una referencia internacional.

El suceso que empujó a España a construir un eficaz sistema de control tuvo lugar el 30 de mayo de 1998. Ese día, la planta que la empresa Acerinox tiene en Algeciras (Cádiz) sufrió una contaminación por cesio-137, al introducir en el horno de fundición chatarras y materiales metálicos entre los que se encontraba una fuente con dicho material radiactivo. La compañía tenía un pódico de detección, pero el día que entró la fuente estaba fuera de servicio. Hasta el día 5 de junio, Acerinox no paró la producción del horno en el que se había detectado la radiación y no informó del incidente al Consejo de Seguridad Nuclear hasta el día 9. La nube radiactiva que provocó fue detectada en Francia, Italia, Alemania y Suiza.

Antes de 1998 había una cierta preocupación con la posible presencia de material radiactivo entre la chatarra, pero no se había traducido en medidas concretas para hacer frente a un suceso de ese tipo. Como sucedía en Acerinox, a la entrada de algunas acerías ya se habían instalado sistemas de detección y el CSN había puesto en marcha una campaña para informar a los trabajadores de las industrias relacionadas con la



Horno de una acería donde se funden y reciclan materiales metálicos. Una fuente radiactiva puede contaminar todo el material final.

recuperación y la fundición del metal de los riesgos de estos incidentes. Pero no era suficiente.

Después de este accidente, tanto la Administración como los representantes de las industrias relacionadas con el reciclado de metal se pusieron a trabajar para tratar de evitar que casos similares se repitieran. El 2 de noviembre de 1999, el entonces Ministerio de Industria y Energía, el Ministerio de Fomento, el Consejo de Seguridad Nuclear, la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (Enresa) y varias agrupaciones que representan a la industria firmaron el *Protocolo de colaboración sobre la vigilancia radiológica de los materiales metálicos*. Desde entonces, se han sumado a ese protocolo más de 50 empresas del sector siderúrgico y de la recuperación y el reciclado de metales.

“Después de aquel incidente, todas las partes implicadas, desde los recolectores de chatarra hasta el Ministerio, nos empezamos a dar cuenta de que había que mejorar el control”, apunta Juan Pedro García Cadierno, jefe del Área de Coordinación de Operaciones de Emergencias del CSN. “Y nos planteamos dos formas

de controlarlo: a partir de un decreto, o con un protocolo como el que al final se firmó”, añade.

A diferencia de lo sucedido en el caso de Acerinox, ahora, si hay contaminación, el CSN debe ser informado al instante. Esta institución evalúa la información y los riesgos, y Enresa se encarga de

el único almacén de residuos radiactivos de baja y media actividad de España. Las compañías que suscriben el protocolo cubren los costes del proceso.

“Dentro del protocolo está establecida la creación de una comisión de seguimiento que se reúne una vez al año”, señala García Cadierno. “Esta comisión

evalúa qué aspectos son susceptibles de mejorar y después encarga a un grupo técnico que proponga cómo se van a llevar a cabo esas mejoras”, continúa.

La ventaja del protocolo es, según los firmantes, que ofrece una mayor flexibilidad que un decreto, que simplemente se cumpliría, pero no lograría la implicación de todos los protagonistas del proceso.

Este punto de vista se comparte desde la industria. “Muchos países intentan copiar el protocolo, pero pocos tienen el sistema en



Juan Pedro García Cadierno, técnico del CSN.

las medidas para la gestión del material que, en caso de necesidad, acabará siendo almacenado en El Cabril (Córdoba):

## Radiación de origen natural

Desde la puesta en marcha del *Protocolo de colaboración sobre la vigilancia radiológica de los materiales metálicos*, cada mes se han detectado dos o tres objetos contaminados. Esas cifras han descendido desde el inicio de la crisis, debido principalmente a la reducción en la actividad del sector de la construcción que es uno de los principales consumidores de acero del país.

Entre ese par de detecciones mensuales, se pueden encontrar materiales de varios tipos. La mayoría, un 51,9 %, son materiales radiactivos de origen natural (NORM, de sus siglas en inglés). Estos materiales son fruto de determinadas actividades humanas, como la minería o la combustión de carbón, que elevan los niveles de emisión radiactiva natural de determinados elementos que ya emiten radiación en su estado normal, como el uranio, el torio o el potasio.

Después de los NORM, el segundo tipo de materiales encontrados, en el 32 % de los casos, son los radiactivos de origen no natural. En este grupo se encuentran objetos como esferas luminosas de relojes, pararrayos o detectores de incendios. Estos materiales, aunque abundantes, no suponen una grave amenaza de contaminación.

El tercer tipo de materiales detectados, en el 13,6 % de los casos, fueron fuentes radiactivas como las que se em-



Cabezal de teleterapia que contiene una fuente radiactiva.

plean en medicina o en aplicaciones industriales. Este tipo de objetos son los que pueden presentar un mayor riesgo.

Por países, después de España, que con un 39,7 % fue el principal origen de los casos de residuos metálicos contaminados detectados, se encuentra Rusia, con un 17,8 %, Francia, con un 11 %, y Lituania, con un 9,6 %. Según Santiago Oliver, aunque en términos absolutos no es relevante, el caso de Georgia resulta especial, ya que España tan solo ha importado 72.000 toneladas de este país desde 1999 hasta finales de 2012, y han aparecido tres fuentes. ▶



Santiago Oliver, responsable de Medio Ambiente, Energía e I+D+i de Unesid.

funcionamiento con todos los implicados colaborando en la misma dirección”, explica Santiago Oliver, responsable del Área de Medio Ambiente, Energía e I+D+i de la Unión de Empresas Siderúrgicas (Unesid). “Esta es una de las ventajas de que el protocolo sea voluntario, todos nos sentamos en una mesa de tú a tú, cada uno aporta el conocimiento del área que mejor conoce y se va más allá del simple cumplimiento de un decreto del Ministerio”, indica.

Pedro Carboneras, del Departamento de Seguridad y Licenciamiento de Enresa, la empresa encargada de la gestión final segura de los residuos, también señala la cooperación como un aspecto esencial del protocolo, que “establece los mecanismos para analizar la experiencia

que se acumule durante su aplicación y aprender con ella, a través de los grupos conjuntos de trabajo”. “Así ha sido desde un principio y hay diversas mejoras ya introducidas, cuya característica más relevante es que se han consensuado entre todos y eso les da su mejor valor añadido”, manifiesta.

Desde la implantación del protocolo hasta 2012, se han detectado 212 fuentes radiactivas, que habrían podido provocar sucesos de contaminación radiactiva como la de Acerinox de 1998, y se han notificado alrededor de 1.500 detecciones de contaminación radiactiva en los materiales metálicos. En 11 ocasiones el pórtico no funcionó adecuadamente y se fundieron fuentes, aunque en cuatro casos no produjeron ningún tipo de residuo.

Entre los objetos detectados en los pórticos de las empresas siderúrgicas y las de reciclado se encuentran desde pararrayos radiactivos, un tipo de tecnología prácticamente en desuso, hasta detectores de incendio, que emplean americio para advertir de la presencia de humo. Con menos frecuencia, también se detectan fuentes realmente peligrosas, que pueden generar un problema desde el punto de vista de la seguridad radiológica, como puede ser un equipo para realizar diagnósticos médicos por gammagrafía o un cabezal de radioterapia.

Según explica Oliver, desde la implantación del protocolo, se han producido muchos cambios. Ahora, “todas las empresas tienen controles a la entrada y algunas incluso tienen sistemas duplicados y triplicados”. Además de estos pórticos con detectores de radiación, el protocolo ha proporcionado una acumulación y un intercambio de conocimiento muy valioso. La interpretación de los datos que proporciona la tecnología de detección no siempre es sencilla y la cooperación de los técnicos de todos los sectores está ayudando a mejorar esa interpretación. En algunos casos, la



Pórtico colocado a la entrada de una acería para detectar la posible presencia de fuentes radiactivas.

radiación natural de algunos de los elementos que pasan por los pórticos puede hacer que los resultados de la medición no se entiendan bien o que una fuente quede oculta por otra. La formación es fundamental para evitar estos errores de análisis.

“El gran beneficio del protocolo es que vamos creando una base de datos que revierte en favor de todo el sistema. En Francia, si una empresa pone un pórtico, solo conoce los casos que suceden en su empresa y no las situaciones y los aprendizajes de otra”, afirma Oliver.

El *Protocolo español sobre vigilancia radiológica de materiales metálicos* está sirviendo ya como referencia para mejorar el control internacional de estos materiales. “Ahora, dentro del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) se está elaborando un código de conducta para controlar el movimiento transfronterizo de material que inadvertidamente pueda llevar material radiactivo, como pueden ser tubos contaminados con tierras que tengan concentraciones de uranio mayores de lo normal”, indica García Cadierno.

Los esfuerzos de los organismos internacionales para crear procedimientos estandarizados en la vigilancia de metales radiactivos son importantes porque buena parte del metal que se funde en España procede del extranjero. “Durante los años de la burbuja inmobiliaria —buena parte del acero se dedicaba a la construcción de viviendas y otras infraestructuras— la mitad era de importación y ahora es un tercio”, apunta Oliver.

Para mejorar la vigilancia, y a petición del Gobierno, se están empleando datos de la industria para identificar países que deben someterse a un escrutinio especial porque de ellos suelen proceder más fuentes por tonelada de chatarra. “Uno de los países que ha aparecido claramente es Georgia”, indica Oliver. Esto sirve para prestar más atención a los países de riesgo y para que se presione diplomáticamente para que mejoren sus sistemas de control.

Para tratar de detectar posible material contaminado, se ha puesto en marcha el proyecto Megaport, realizado de forma conjunta por la Agencia Tributa-



Desde la implantación del protocolo hasta 2012, se han detectado 212 fuentes radiactivas en acerías.

ría Española y la Aduana de EEUU. Su objetivo es detectar de forma automática la presencia de materiales radiactivos en las entradas y en las salidas de los puertos.

Pese al buen funcionamiento del protocolo, todos los agentes implicados coinciden en que hay aspectos que se pueden mejorar. Según García Cadierno, uno

de los aspectos es la formación de los trabajadores, ya que el factor humano estuvo detrás de todos los incidentes detectados en los últimos años. En este sentido, el CSN está elaborando una base de datos que incluye imágenes de todos los sucesos en los que se ha encontrado material radiactivo. Además, se debería mejorar el cribado de la chatarra, para



Almacenamiento de residuos de muy baja actividad en las instalaciones de Enresa en El Cabil.

separar los materiales *normales* de los que se deberán gestionar como residuos radiactivos.

Antes del incidente de Acerinox, España no era el único país que no había adoptado medidas sistemáticas para evitar la fusión de fuentes radiactivas junto con la chatarra convencional. Pese a que también se considerase un riesgo, salvo Italia, la vigilancia radiológica de este tipo de actividades no contaba con prácticas sistemáticas para reducir la probabilidad de estos sucesos en ningún país. A partir de 1999, con el asesoramiento de España, también la UE comenzó a estudiar la posibilidad de desarrollar normas nacionales y de mejorar el control en los puertos y fronteras con países ajenos a la Unión.

Tampoco hay que olvidar la importancia económica de todas estas medidas. El coste de la descontaminación tras el accidente en la acería de Cádiz rondó los 26 millones de euros y a eso hay que añadir el daño para la imagen de la industria. Ahora, las garantías que proporcionan las nuevas medidas, tal y como han declarado los representantes de la industria en sus propios foros empresariales, también han sido beneficiosas para su posición en el mercado como marchamo de calidad y seguridad.

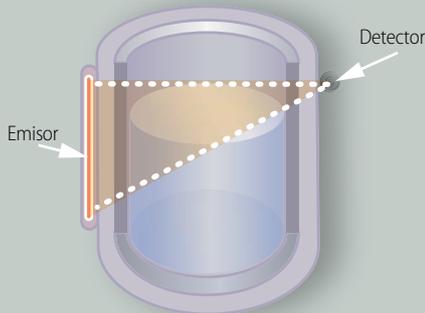
Casi 15 años después del incidente que lo cambió todo, los protagonistas que entonces tuvieron que reconocer sus errores se sienten satisfechos por lo aprendido. El aprendizaje puntual del incidente y las dinámicas para seguir aumentando el conocimiento con el que hacer frente a los posibles riesgos son claves para que no se vuelvan a repetir situaciones similares. “El objetivo final e ideal del protocolo solo puede ser el de evitar cualquier nuevo incidente; en esa línea todos los esfuerzos que se hagan para acentuar el carácter preventivo que lo anima son y serán siempre bienvenidas”, concluye Carboneras. 

# Radiografía

## Usos industriales de las radiaciones ionizantes

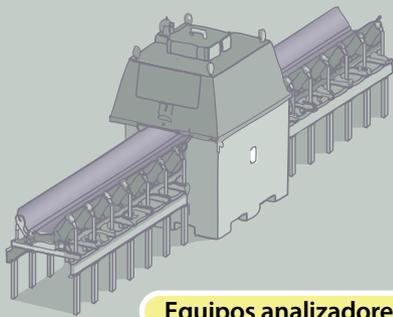
### Control de procesos industriales

Se trata de sistemas incorporados a procesos industriales para controlar algunos parámetros de interés, mediante análisis o medida instrumental. Constan de uno o varios cabezales radiactivos emisores y otros tantos detectores de radiación.



### Equipos medidores

Incorporan automatismos adecuados para medir el parámetro de interés (espesor, densidad, nivel, etc.) o para comprobar el proceso de fabricación.

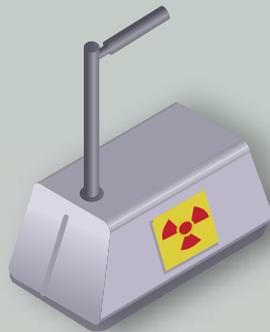


### Equipos analizadores

Muchos elementos tienen reacciones de captura neutrónica al ser bombardeados con neutrones térmicos. Tras la reacción, se produce una emisión gamma inmediata y una emisión gamma retardada. La detección de estas emisiones permite identificar los elementos de la muestra y su concentración. Se usa especialmente para el análisis de minerales, cemento y carbón; y, recientemente, también en la detección de explosivos.

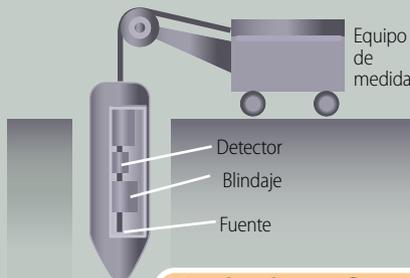
### Medida de densidad y humedad en suelos y en sondeos

Son dispositivos móviles que se utilizan *in situ* y que incorporan fuentes radiactivas para la medida de la humedad y de la densidad.



### Equipos de medida de densidad y humedad en suelos

Se utilizan para mediciones en suelos a escasa profundidad. Están constituidos por un emisor de radiación blindado y un detector que mide las radiaciones emergentes. Se utilizan fundamentalmente en la construcción de carreteras.

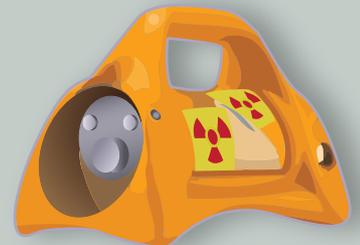


### Sondas de testificación

Se utilizan para el reconocimiento de estratos en perforaciones de sondeos a gran profundidad. Las fuentes radiactivas se incorporan en la sonda en el momento de uso. La sonda dispone también de detectores de radiación.

### Radiografía

Las instalaciones de radiografiado industrial utilizan las radiaciones ionizantes para la obtención de imágenes del interior de piezas, ya sea en forma de placas radiográficas (grafía) o mediante escopía (imagen dinámica obtenida con intensificador de imagen y que se recibe en un monitor de TV). Su funcionamiento se basa en el hecho de que los rayos X y gamma sufren una atenuación al interactuar con la materia. Cuanto menor es la masa atómica del material, más transparente será a esta radiación.

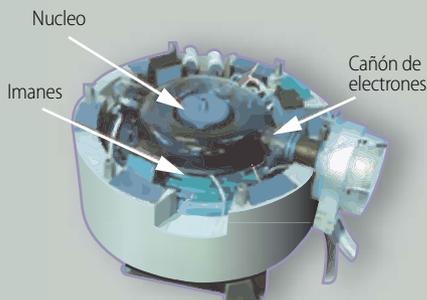


### Gammagrafía industrial

Se trata de un contenedor blindado con una fuente radiactiva que emite radiación gamma, ensamblada en un portafuentes. Se complementa con elementos auxiliares como son el telemando y las mangueras. Se puede utilizar *in situ* o en recintos blindados.

### Generadores de rayos X

Los equipos de rayos X utilizados en esta técnica tienen un potencial de 120 a 450 kV e intensidades de 20 a 200 mA. Constan de un tubo de rayos X, una consola de control y un generador de alta tensión. Pueden trabajar en una instalación fija o de forma móvil.



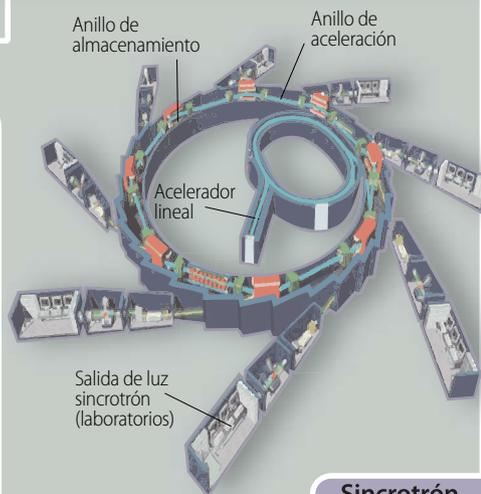
**Aceleradores**

En estos equipos se aceleran electrones que al chocar contra un blanco producen rayos X más energéticos y, por tanto, con mayor poder de penetración que los equipos de rayos X. Por ello siempre se requiere, para utilizarlos, una instalación blindada con enclavamientos de seguridad diseñados para este fin.

**Aplicaciones singulares**

**Láser**

Está prevista la autorización de una instalación radiactiva que contará con un láser de muy alta energía, que se focalizará sobre un blanco con el fin de acelerar partículas. El objetivo científico de la instalación será el estudio de plasmas en condiciones extremas. Se producirán partículas aceleradas, esencialmente electrones, que a su vez acelerarán protones y otros iones, y generarán fotones de *bremsstrahlung*. También se pueden inducir reacciones nucleares mediante este mecanismo.



**Sincrotrón**

Al acelerar electrones hasta velocidades próximas a la de la luz se genera una emisión de radiación sincrotrón. Se trata de radiación electromagnética con longitudes de onda situadas en el espectro entre el infrarrojo y los rayos X. Sus características permiten su utilización para el estudio de la estructura de la materia y otras aplicaciones. España cuenta con una instalación de este tipo, el sincrotrón Alba, ubicado en Barcelona.

Más información en el artículo:

"Aplicaciones industriales de las radiaciones ionizantes y requisitos de seguridad y protección radiológica" de la página 50.

**Otras utilidades**

**Lámparas HID**

Las lámparas HID (*High Intensity Discharge*) generalmente consisten en un tubo de arco que contiene material radiactivo de muy baja actividad y una cubierta exterior de cuarzo. El propósito de las fuentes radiactivas es reducir el nivel de descarga de electrones en el cátodo, ayudar al encendido, prolongar la vida útil, mejorar la calidad metalúrgica y mejorar las propiedades de color de la luz.

**Trazadores**

Los radiotrazadores son sustancias que se añaden a un sistema para estudiar su comportamiento dinámico. Permiten observar las reacciones químicas y los procesos físicos, incluso en sistemas cerrados, a temperaturas elevadas y altas presiones, y en tiempo real. Se emplean para la medida de caudales, detección de fugas, localización de obstrucciones y optimización de los parámetros, entre otros procesos.

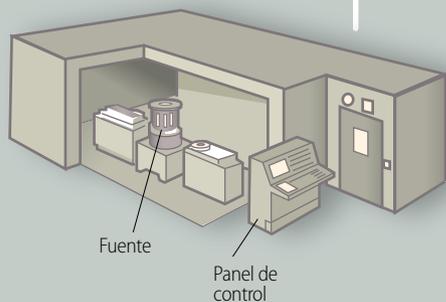


**Detectores de humo**

De amplia utilización para la detección precoz de incendios, su funcionamiento se basa en la ionización de las moléculas de aire producidas por un emisor  $\alpha$ .

**Irradiación industrial**

Las radiaciones ionizantes generan fenómenos de ionización, formación de radicales libres y excitación molecular al incidir sobre la materia. Estos efectos permiten esterilizar, higienizar y conservar alimentos, productos médico-quirúrgicos, farmacéuticos, de laboratorio y cosmética. También se usan para mejorar las propiedades térmicas y mecánicas de plásticos y corchos, colorear vidrios, desinsectar maderas, conservar libros antiguos, esterilizar insectos para el control de plagas y otras muchas aplicaciones.



Rosario Velasco García (León, 1957) es licenciada en Medicina y Cirugía por la Universidad de Valladolid. Desde 1980 ha venido desempeñando su actividad profesional en el sistema sanitario público, y desde 1989 es facultativa especialista del Área de Neonatología en el Servicio de Pediatría del Hospital El Bierzo (León). En 1999 fue nombrada concejala en el Ayuntamiento de Ponferrada (León) y procuradora regional en las Cortes de Castilla y León, desempeñando las tareas de vocal en la Comisión de Industria y portavoz adjunta para los temas de Energía y Minería. Además, formó parte de la Comisión de Sanidad, ejerció de portavoz en la Comisión de Fomento, y participó como ponente de la Ley de

Actuación Minera de Castilla y León. Entre los años 2004 y 2008 fue diputada en las Cortes Generales. Durante este periodo, ejerció de vocal de la Comisión de Industria y Energía y portavoz del Grupo Parlamentario Socialista en la ponencia que revisa las actuaciones del CSN, y desempeñó las labores de ponente en diez proyectos de ley y una proposición de ley, entre ellas, la de reforma de la Ley de Creación del CSN. Se incorporó al Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear, como consejera, en julio de 2011 y en abril de 2013 fue elegida vicepresidenta del organismo regulador. El pasado mes de noviembre ha sido elegida presidenta de la Plataforma Tecnológica de Energía Nuclear de Fisión (Ceidén).

## Entrevista a Rosario Velasco, vicepresidenta del Consejo de Seguridad Nuclear

# “Creo que el CSN tiene un nivel muy saludable de independencia”

■ Ignacio Fernández Bayo, periodista científico, director de Divulga ■

**A**ntes de conceder una entrevista, Rosario Velasco García ha preferido dejar pasar un tiempo, a pesar de la experiencia acumulada durante los años que formó parte de la Comisión de Industria y Energía del Congreso y de la Ponencia encargada del control del Consejo de Seguridad Nuclear. Con todo, mide cuidadosamente sus palabras para evitar que se malinterpreten, pero no elude ninguno de los temas que surgen en la conversación. En su discurso destacan, por encima de todo, sus continuas alusiones y alabanzas al cuer-

po técnico de la casa, tanto por su capacidad como por su dedicación.

**PREGUNTA:** *¿Qué opinión tiene del Consejo de Seguridad Nuclear tras dos años formando parte del Pleno?*

**RESPUESTA:** Pues mejor de lo que esperaba. Esta casa es muy robusta, es un organismo con muchos años ya y se le nota una madurez plena, tanto en el cuerpo técnico como en el marco regulador que se ha ido elaborando a lo largo de los años.

**P:** *¿Y de consejera a vicepresidenta ha notado algún cambio?*

**R:** Yo creo que el Estatuto da escasas competencias a la vicepresidencia, simplemente la sustitución del presidente en caso de ausencia, pero a nivel personal sí hay un plus de responsabilidad. Al menos yo lo siento así. Creo que tienes que remar más en el día a día de la casa. Sin que esa sea una función escrita yo siento esa mayor responsabilidad.

**P:** *¿Cuáles son las fortalezas del CSN?*

**R:** Creo que hay una fortaleza tremenda, que es un cuerpo técnico con una altísima preparación. Tenemos a los mejores, los que más saben de



seguridad nuclear y protección radiológica en este país. También la estructura, la configuración de este organismo muestra su fortaleza. No se parece a la ASN francesa o al organismo alemán. Aquí tenemos que ser los mejores en todo para poder trabajar con la mayor eficiencia y excelencia en nuestras prácticas. Todas las organizaciones pueden mejorar y trabajamos continuamente en busca de la excelencia, pero la situación de base es muy buena.

**P:** *¿Y sus debilidades?*

**R:** La mayor que tenemos es consecuencia de la crisis. El organismo se enfrenta a un reto muy importante, que es trasladar todo el conocimiento acumulado a los nuevos técnicos que se vayan incorporando en el futuro. En estos momentos tenemos nuevos retos en la regulación y deberíamos crecer como cuerpo técnico, conseguir la incorporación de nuevas personas y darles una formación adecuada para garantizar que en tres o cuatro años estén a pleno rendimiento y que no se pierda ese conocimiento. Aquí hay personas que venían de la Junta de Energía Nuclear y han estado en el CSN desde el principio, y ahora se están jubilando. El reto es trasladar ese conocimiento a la gente joven que ya está trabajando en la casa.

**P:** *¿Ha habido muchas bajas por jubilación que no se han cubierto?*

**R:** Actualmente hay 17 vacantes en la Relación de Puestos de Trabajo y la previsión es que de aquí a 2018 se produzcan más de 40 jubilaciones. Es un porcentaje elevado.

**P:** *¿Y está en vías de solución?*

**R:** Es uno de los objetivos prioritarios de este Pleno y ya estamos en el camino adecuado.

**P:** *Antes de su llegada al CSN estuvo en la Comisión de Industria y Energía que controla las actividades del organismo, ¿se ven distintas las cosas desde este lado?*

**R:** Creo que me tocó una época muy bonita. Era portavoz en la ponencia que analiza las actividades del Consejo de Seguridad Nuclear y las seguí muy de cerca. Hubo algún problema y estuvimos muy activos; tuve la suerte de conocer a muchos de los técnicos que trabajaban aquí por sus comparencias y tenía una visión muy aproximada de lo que era el Consejo. Ahora, cuando ya eres una parte directamente implicada te comprometes más, conoces mejor al personal y eso te da un valor añadido importante y una visión más ajustada y realista de la situación. Por ejemplo, yo

*Uno de los objetivos prioritarios de este Pleno es poder cubrir las vacantes que se han producido.*

tenía la idea de que era un cuerpo técnico magnífico y me he dado cuenta de que lo es mucho más de los que pensaba. En realidad ha sido profundizar en el conocimiento que ya tenía.

**P:** *La ponencia controla al regulador y en esa labor a veces pueden surgir fricciones. ¿Qué temas fueron más conflictivos en aquella época?*

**R:** Los problemas que tuvo Vandellós II, y ahí el Parlamento hizo un ejercicio muy importante de supervisión, y fue muy proactivo para pedir una misión IRRS al CSN. Como representante del pueblo tienes esa obligación de exigir al máximo y recibimos una respuesta absolutamente positiva por parte del Consejo. Uno de los valores que tiene esta casa es el del cuestionamiento permanente

de sus actividades. Es una organización tremendamente abierta, que está acostumbrada a las auditorías, a las revisiones inter pares, a reevaluarse en su actividad y eso no se da tanto en otras instituciones.

**P:** *Una clave esencial de los organismos reguladores es la independencia, tanto del Gobierno como de los regulados ¿Es difícil mantenerla?*

**R:** Yo diría que independencia del Gobierno y de los regulados, pero también de todos los *stakeholders*, los grupos de interés, de los ecologistas, de los ciudadanos que viven en el entorno de las instalaciones y de los que están fuera. Comparando con otros organismos reguladores creo que tenemos un nivel muy saludable de independencia. Esa es mi opinión. La Ley de Creación del Consejo y su reforma de 2007 son de las más avanzadas que existen en Europa, y ha sido referencia para modificar otros organismos reguladores, como el francés, por ejemplo, que es posterior. También digo que es necesario profundizar y trabajar y generar instrumentos e indicadores para medir ese nivel de independencia.

**P:** *Presiones se producirán siempre.*

**R:** Es normal. Yo siempre digo que el CSN es un círculo en el que hay fuerzas externas que se contrapesan. Lo importante es que haya un equilibrio de presiones y no se deforme esa estructura circular. En la toma de decisiones hay que estar interaccionando con la sociedad, con el Gobierno, con los *stakeholders*, pero no dejándose influir, o que la influencia de todos ellos esté equilibrada.

**P:** *La transparencia es clave en regulación. ¿Lo es el Consejo de forma suficiente?*

**R:** Siempre se puede mejorar pero creo que es un organismo transparente. Nuestra página web permite conocer todos los sucesos notificados, las actas del Pleno, los informes al Parlamento y todas las decisiones que se toman, además de otras informaciones de interés

## “En Garoña, el Consejo ha trabajado con rigor e independencia, pero no siempre hemos sido entendidos por la opinión pública”

**P:** ¿Garoña ha sido y es el tema más candente para el Consejo?

**R:** Ha habido muchos retos reguladores con Garoña desde 2009, cuando se hizo una primera evaluación de la renovación por diez años. El Gobierno decidió no dar la autorización por ese plazo y el Consejo evaluó las condiciones y límites para dos, cuatro y seis años. Luego, a finales de 2011, hay un nuevo Gobierno que abre la posibilidad de que Garoña pueda solicitar alargar su vida útil... o sea que hemos estado permanentemente revisando, estudiando y actualizando las circunstancias según el contexto de cada momento; tanto por decisiones del Gobierno como del propio titular. Ha un sido reto importante y el Consejo ha trabajado con el máximo rigor e independencia, aunque a veces no hemos sido bien entendidos por la opinión pública. También se nos ha acusado de recibir presiones del Gobierno, pero nuestra obligación es informar a los poderes públicos en temas de seguridad nuclear, y si el Gobierno dice que va a tomar una decisión y nos pide un informe sobre los límites y condiciones que debe cumplir, la obligación del Consejo es hacerlo en tiempo y forma, siempre que podamos hacer bien nuestro trabajo.

**P:** Y lo seguirán haciendo...

**R:** Desde luego, no somos nosotros quienes decidimos ni la planificación energética de este país ni los intereses de los titulares de las empresas. Somos reguladores, y en el contexto en que nos movamos informaremos de lo que consideremos mejor para la seguridad de las instalaciones. Y si en algún momento hay dudas sobre la seguridad el Consejo planteará el cierre de la instalación, pero no ha sido el caso y hemos trabajado en cada momento con lo que procedía hacer.

**P:** La cuestión de fondo es la extensión de vida de las centrales.

**R:** Hay que decir que ese ejercicio de regulación en el Consejo de Seguridad Nuclear ya se ha hecho, precisamente con Garoña, que ya extendió su vida más allá de los 40 años. Hay conocimiento, hay técnicos trabajando en este tema desde hace muchos años y que son referentes a nivel internacional y se hizo un ejercicio de reflexión muy profundo respecto a los requisitos que debían cumplir las centrales que superaran la vida de diseño. Desde el punto de vista técnico es una fortaleza de la casa, se sabe lo que hay que pedir y se sabe lo que hay que hacer. ▸



para los *stakeholders*. La revista también es un instrumento muy útil para dar a conocer a las actividades del Consejo y otras muchas que tienen que ver con la actividad reguladora en un contexto amplio, porque no vivimos aislados del mundo. Creo que la ley ofrece instrumentos y que el Consejo los está utilizando

para poder llegar a un máximo de transparencia.

**P:** Uno de los retos que tiene ahora el Consejo es la implantación de los planes de acción derivados de las revisiones post-Fukushima. ¿Cómo están actualmente?

**R:** Muy avanzados. Tenemos que presentar el informe en el primer semestre del

próximo año y preparar las revisiones inter pares. Y hay que destacar que todo el trabajo que se ha hecho post-Fukushima ha sido un trabajo muy duro y muy intenso que ha tenido el Consejo desde el año 2011 y que vamos a seguir teniendo. De cara a nuestros compromisos internacionales pero también, y sobre todo, a la implementación en nuestras instalaciones nucleares de esos planes. Ha sido y es un trabajo añadido a la actividad habitual de evaluación e inspección, que es el núcleo fundamental de la casa.

**P:** En cuanto a los efectos de la crisis, ya hemos hablado del traspaso de know-how a las nuevas generaciones. ¿Hay algún otro aspecto en que les esté afectando?

**R:** Sí, los hay. Nos preocupa el mantenimiento de la inversión en seguridad, en las mejores condiciones, en el funcionamiento normal de nuestras centra-

les, que ya llevan años trabajando. No queremos que la crisis afecte a la seguridad de las instalaciones nucleares y radiactivas y estamos llevando un seguimiento muy puntual de las inversiones que hacen. No hemos bajado la guardia, porque la crisis no puede condicionar la seguridad.

**P:** Otro reto importante es el almacén temporal centralizado para el combustible gastado ¿Cómo va el proyecto?

**R:** Pues va avanzando y bien. Yo creo que es un reto importante para el país y para el Consejo, que debe evaluar el proyecto. En ese sentido, el Pleno ya ha destinado especialistas que se van a dedicar *full time* al proyecto, en estrecha relación con Enresa, para que todo se desarrolle con el mayor nivel técnico, ajustándonos en los tiempos y avanzando en los aspectos más problemáticos que puedan surgir. Ya hicimos un licenciamiento conceptual genérico y ahora estamos avanzando en la parte de licenciamiento, control de calidad y otros temas relevantes en esta fase. Según Enresa, está a punto de presentar la solicitud de emplazamiento y construcción.

**P:** Hay un proceso de armonización y convergencia entre los países de la Unión Europea en los temas que afectan al Consejo, ¿puede llevar a la creación de un único regulador europeo?

**R:** Europa tiene que ser algo más que un grupo de países con intereses comunes estrictamente económicos, pero de momento lo necesario es intercambiar experiencias, compartir buenas prácticas y buscar soluciones conjuntas; y eso en todos los ámbitos. En el nuestro, eso es lo que hacen ENSREG, que es la asociación europea de reguladores en seguridad nuclear, y HERCA, su homólogo en protección radiológica. Yo creo que están dando muy buen resultado. Un organismo único europeo plantearía problemas en competencias sensibles, como la seguridad física.

**P:** En protección radiológica de los pacientes el Consejo ha adquirido atribuciones que no tenía ¿en qué consisten?

**R:** Creo que ha sido un cambio importante. La competencia es del Ministerio de Sanidad, pero el Consejo tiene la de mantener el conocimiento en ese tema e informar a las autoridades sanitarias, que son el Ministerio y las comunidades autónomas. Tras la aprobación del Estatuto se firmó un convenio con el Ministerio de Sanidad y tenemos una buena colaboración, aunque creo que tenemos que definir con claridad cuáles son las competencias del CSN para lograr que la protección del paciente mejore. Los servicios de protección radiológica de los hospitales, implantados desde hace años para los trabajadores, han supuesto un antes y un después, y a partir de ellos se podría ampliar el control a los pacientes. Hay que tener en cuenta que las radiaciones que recibe la población por este motivo superan ya a las que se reciben de fuentes naturales.

**P:** En España tenemos unas 33.000 instalaciones radiactivas. ¿Es muy complicado ejercer el control sobre ellas?

**R:** Muy complicado, porque no puedes poner una persona detrás de cada instalación. Afortunadamente, tenemos los acuerdos de encomienda de funciones con las comunidades autónomas, que permiten una mayor cercanía para hacer controlar e inspeccionar las instalaciones, porque con el personal del Consejo sería imposible realizar todas estas actividades. Gracias a ello, todas ellas se licencian tras superar los controles previos y en todas se hace el seguimiento correspondiente.

**P:** ¿Podemos decir que están bien controladas?

**R:** Creo que están razonablemente controladas. Hay posibilidades de mejora, pero no todas las instalaciones tienen la misma complejidad, por lo que se

priorizan algunas a la hora de evaluarlas. La metodología de trabajo de la Subdirección de Protección Radiológica Operacional creo que es buena y están perfectamente definidas las actuaciones en cada caso, que en algunos casos son más directas que en otros.

**P:** ¿Qué importancia tiene para el Consejo la inversión en I+D?

**R:** Históricamente, el CSN ha dedicado una parte importante de su presupuesto a la I+D. Hay un plan aprobado y en funcionamiento pero es necesario reflexionar sobre las líneas que debemos considerar prioritarias. A los miembros del Pleno nos preocupa la evaluación de nuestros programas de I+D y queremos hacer un esfuerzo en identificar y definir indicadores para evaluar los retornos de la inversión.

**P:** ¿Cómo se orienta actualmente la política internacional del CSN?

**R:** Además de la colaboración con los países más avanzados, a través de organizaciones como OIEA, NEA, INRA, WENRA, relaciones bilaterales y asociaciones europeas, tenemos proyectos de cooperación, especialmente con los países de habla hispana, para los que somos el interlocutor natural y, por intereses geoestratégicos, con el norte de África, en temas como las fuentes huérfanas, en el que el Consejo ha hecho un trabajo emblemático durante muchos años. Creo que la cooperación está en los genes del CSN, porque colaborar con otros países es fundamental.

**P:** El CSN, ha aportado muchos técnicos y altos cargos a organismos internacionales, como el OIEA y la NEA ¿Estamos exportando cerebros?

**R:** Sí, y nuestra vocación es seguir haciéndolo. Creo que es muy bueno tener situados a españoles en los organismos internacionales; no solo para el Consejo, sino para el país.

**P:** Y dice algo del Consejo ¿no?

**R:** Dice mucho, sí.



# Breve análisis del régimen sancionador establecido en la Ley de Energía Nuclear

La sociedad actual es cada vez más compleja y por lo tanto la normativa que la regula también tiene necesariamente que serlo, pero al mismo tiempo tiene que estar al alcance de la comprensión del ciudadano medio que debe respetarla sin necesidad de ser un experto jurista; en la materia sancionadora la claridad, si cabe, debe ser aún mayor pues de la inobservancia de las normas administrativas se pueden deducir consecuencias muy gravosas para las economías de los agentes que trabajan en este sector de la seguridad nuclear y la protección radiológica. Esta claridad y sencillez que siempre son necesarias en la redacción de cualquier norma, en materia sancionadora deben

hacerse congruentes con la inevitable determinación y seguridad de los tipos sancionadores para que nadie se pueda sentir indefenso y conozca con certeza lo que no puede ni debe hacer; ahí nos movemos, en este estrecho margen, por eso es importante conocer un poco la esencia de nuestro catálogo sancionador, la filosofía y, sobre todo, el cuidado que debemos tener todos para evitar inseguridades, indefensiones, tratos de favor y velar, en definitiva, porque la aplicación de la norma se lleve a cabo con la mayor justicia posible. ■ Texto: **José Luis Castro** | Letrado de la Subdirección de Asesoría Jurídica del CSN | **Victoria E. Méndez** | Subdirectora de Asesoría Jurídica del CSN. ■

## Cuestiones generales

El capítulo XIV de la Ley 25/1964, de 29 de abril, sobre Energía Nuclear, reformada por la Ley 33/2007, de 7 de noviembre, se denomina “de las infracciones y sanciones en materia nuclear”, y abarca desde el artículo 85 al 93, ambos inclusive, cerrando así el texto normativo de la ley.

Como comentarios generales puede decirse que este régimen establece un catálogo con tipos sancionados con las multas más altas de nuestro ordenamiento jurídico en el momento de ser redactado, contemplando unas sanciones pecuniarias en su grado máximo las muy graves y para centrales nucleares de hasta 30 millones de euros, considerando el riesgo y el daño potencial que un funcionamiento inadecuado de las centrales puede suponer para la población.

Pero hay que destacar que el catálogo es también lo suficientemente rico, flexible y minucioso que permite establecer tipos diferenciados según que los infractores sean titulares de centrales

nucleares, instalaciones nucleares que no sean centrales nucleares, instalaciones radiactivas en sus tres categorías (primera, segunda y tercera), unidades técnicas de protección radiológica (UTPR), servicios de protección radiológica, centros de dosimetría, empresas de venta y asistencia técnica de equipos de rayos X médicos, transporte de fuentes o material radiactivo y otras; llegando desde los 30 millones citados hasta los 1.200 euros en el caso de infracciones leves en su grado mínimo para las instalaciones llamémosle menores o que son susceptibles de producir menos daños potenciales y cuyo riesgo de funcionamiento por lo tanto es más bajo para la población.

La ductilidad de este régimen sancionador se corona con la posibilidad de apercibir al titular de la instalación, facultad que posee en exclusiva el Consejo de Seguridad Nuclear, en los casos de presuntas infracciones leves.

Una muestra del intento del legislador por conseguir la mayor justicia

posible en este régimen sancionador, persiguiendo aquilatar o afinar la sanción de forma detallada, lo refleja el catálogo de circunstancias descritas en el artículo 88.2 de la ley, de la a) a la n), que deben tenerse en cuenta a la hora de establecer una propuesta, haciendo un recorrido desde la magnitud del daño causado a las personas o al medio ambiente, hasta la cantidad de material hallado fuera de control, pasando por el beneficio obtenido por la comisión de la infracción, los antecedentes, la reiteración, la diligencia en la detección e identificación del problema, la duración del peligro, etc.

En el ámbito del Consejo de Seguridad Nuclear, la utilización de estas circunstancias se lleva a cabo de dos maneras: por un lado para ayudar a determinar si en un supuesto debe apercibirse al infractor o debe proponerse la apertura de un expediente sancionador; y por otro, permitiendo al instructor del expediente sancionador que se incoe, en su caso, graduar la sanción de acuerdo con la

mayor o menor producción de las circunstancias del artículo 88. Hay que hacer notar a este respecto que, por citar unos ejemplos, las sanciones muy graves cometidas en el ámbito de las centrales nucleares, pueden oscilar entre 9.000.001 € en su grado mínimo hasta 30.000.000 € en su grado máximo; y en las instalaciones radiactivas de segunda y tercera categoría, UTPRs y demás enumerados, tienen un rango para las leves, de entre 1.200 € en su grado mínimo y 6.000 € en su grado máximo; lo que refleja sin duda la importancia de valorar las circunstancias del artículo 88 para determinar el alcance económico de la sanción que se proponga ya que el arco o espectro sancionador es muy amplio.

Uno de los objetivos más dignos de alabanza de la redacción de esta normativa sancionadora radica en el intento de evitar la indefensión del posible destinatario de la sanción, persiguiendo garantizar su seguridad jurídica y tratando de evitar la arbitrariedad del órgano administrativo sancionador que reduce al máximo el margen de discrecionalidad que siempre le cabe al organismo que sanciona.

En este sentido, el catálogo sancionador y, sobre todo, la calificación en infracciones muy graves, graves o leves, pivotan sobre los conceptos de peligro y daño, conceptos que padecen una consideración genérica o uso común que peca de ambigüedad y por lo tanto está sometida a interpretaciones, y que en este texto se clarifica a los efectos exclusivos de la aplicación del catálogo sancionador en materia nuclear. Además de la morigeración que puede producir la incidencia de las circunstancias previstas en el artículo 88 de la Ley 25/1964, de Energía Nuclear, que operan dentro de la calificación establecida (leves, graves o muy graves) y sin alterarla.

Así, el apartado 1 del artículo 87 de la Ley 25/1964, de Energía Nuclear, en su redacción reformada, explica que se en-



Fachada del Consejo de Seguridad Nuclear.

tenderá que ha existido peligro grave para la seguridad o la salud de las personas, a los efectos sancionadores, cuando se degrade el funcionamiento seguro de la actividad de tal manera que los dispositivos, mecanismos o barreras de seguridad remanentes, o las medidas administrativas disponibles, no permitan garantizar que se pueda evitar la exposición a las radiaciones ionizantes, con dosis correspondientes a la aparición de efectos deterministas.

No vamos a entrar a considerar el exacto alcance de esta compleja definición que, aun permitiendo interpretaciones y valoraciones, lo cierto es que acota mucho la posibilidad de considerar una acción como infracción muy grave, ya que este tipo de infracción está asociada en la casi totalidad de los supuestos al concepto de peligro grave y, por lo tanto, al riesgo de exposición a las radiaciones ionizantes con dosis correspondientes a la aparición de efectos deterministas.

Pirámide normativa



Asimismo, para el apartado 2 del artículo 87 de la Ley de Energía Nuclear, se entenderá que ha existido daño grave a las cosas o al medio ambiente cuando, como consecuencia de la exposición a las radiaciones ionizantes, se vean afectados los usos presentes o futuros de las cosas o del medio ambiente. También en estos casos si se produce daño grave para las cosas o el medio ambiente, la infracción será considerada como muy grave.

Sin embargo, y de acuerdo con el apartado 3 del mencionado artículo, se entenderá que no ha existido peligro para la seguridad o salud de las personas, o que este es de escasa trascendencia cuando no se vea afectada significativamente la seguridad de la actividad o instalación, y no se produzcan situaciones de las que pudiera derivarse exposición indebida a las radiaciones ionizantes, o de producirse tales situaciones, las dosis estuvieran por debajo de los límites establecidos reglamentariamente.

En estos casos solo se podrá considerar que la infracción es de carácter leve (artículo 86 c 1).

Finalmente, para concluir con este afán clarificador, el apartado 4 del art. 87,

considera que ha existido daño de escasa trascendencia, cuando no se vean afectados los usos presentes o futuros de las cosas y el medio ambiente.

### Responsabilidad del titular

La responsabilidad genérica del titular de la instalación sobre la producción de daño a las personas y las cosas o al medio ambiente ya está recogida a modo de epítome en el art. 45 de la Ley 25/1964 y, con rango reglamentario, en el artículo 8 del Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas, aprobado por el Real Decreto 1836/1999.

Del mismo modo, una de las especialidades del catálogo sancionador, siguiendo con la técnica legislativa de la Ley de Energía Nuclear para este sector, es la responsabilidad del titular, es decir, un trasunto de la responsabilidad objetiva o sin culpa en el ámbito civil, que constituye el pilar del llamado Derecho Nuclear, al ámbito del régimen sancionador.

En este sentido se pronuncia el artículo 85 de la Ley de Energía Nuclear, cuando dice que “sin perjuicio de las eventuales responsabilidades civiles, penales o de otro orden y de la responsa-

bilidad material que resulte de la comisión de hechos sancionables, el titular de la instalación o responsable de la actividad se considerará responsable en atención a sus deberes de vigilancia y control sobre la actividad”.

Es decir, que desde el punto de vista sancionador se va a proceder contra el titular aunque no sea el propio titular (si es persona física) el autor material de la infracción que se persiga, en atención a la culpa *in vigilando* que se le atribuye. Si bien luego podrá repetir en vía de regreso contra el autor material de la infracción, si considera que puede y debe hacerlo, tanto a través de la jurisdicción civil como incluso en la penal; pero el titular no puede eludir su directa responsabilidad frente a la autoridad administrativa sancionadora y tendrá que responder, y en su caso asumir, el coste de la sanción. Este planteamiento simplifica y da certeza al posible destinatario del expediente que es conocido de antemano.

Si bien en el ámbito de la responsabilidad civil el perjudicado no ha de acreditar culpa o negligencia en la acción del titular, bastando con que acredite la existencia del daño para que se produzca la obligación de reparar, en el ámbito sancionador se requiere un plus, al menos la existencia de cierta negligencia o culpa aunque leve, en el desempeño de sus obligaciones; de hecho la mayoría de las infracciones se producen por el descuido del titular en el cumplimiento de sus obligaciones materiales o formales, cuanto más si se aprecia negligencia grave, dolo o ánimo de lucro en la comisión de la infracción.

### Apercibimiento

Esta facultad coercitiva que posee el Consejo de Seguridad Nuclear está recogida en el apartado 3 del artículo 91 de la Ley 25/1964, de Energía Nuclear, en relación con la presunta comisión de infracciones que pudieran calificarse como leves

(primer requisito), alternativamente a la propuesta de apertura de expediente sancionador (segundo requisito: si se elige una vía luego no se puede cambiar; es decir, que si se opta por apercibir, ello implica que ya no se puede proponer la apertura de un expediente sancionador por los mismos hechos, aunque como consecuencia del apercibimiento no se produzca resultado positivo alguno en la conducta del infractor), cuando las circunstancias del caso así lo aconsejen (tercer requisito) y siempre que no se deriven daños y perjuicios directos a las personas o al medio ambiente (cuarto requisito).

Si los términos del apercibimiento no fuesen atendidos por el infractor (en la práctica se le conceden dos meses para que corrija la situación por la que ha resultado apercibido o tome las precauciones exigidas para que no ocurra más en lo sucesivo), el CSN podrá imponer multas coercitivas por un importe que será, la primera vez, del 10 %, y las segundas y sucesivas, del 20 % del valor medio de la sanción que correspondiera imponer, en su grado medio.

### Amonestación

Para intentar atenuar de alguna manera la rigidez de la responsabilidad objetiva por culpa *in vigilando* que en ocasiones puede resultar injusta, desde el punto de vista subjetivo o de atribución de la culpabilidad, el régimen jurídico sancionador ha creado *ex novo* en este sector la figura de la amonestación regulada en el apartado 4 del artículo 91 de la Ley de Energía Nuclear, incorporado a dicha Ley en virtud de la Ley 33/2007, de 7 de noviembre.

De esta manera, se regula en dicho apartado que “con independencia de la sanción que pudiera corresponder en su caso al titular, el Consejo de Seguridad Nuclear podrá amonestar por escrito a la persona física que, mediante negligencia grave, sea responsable de la realización de una mala práctica por la que se haya

originado la comisión material de hechos susceptibles de sanción”.

De su definición obtenemos la primera conclusión de que no es el organismo competente para sancionar de acuerdo con la propia Ley (Ministerio de Industria, Energía y Turismo o comunidades autónomas) quienes pueden amonestar, sino que es el Consejo de Seguridad Nuclear quien tiene competencias exclusivas y excluyentes para hacerlo, independientemente del curso del procedimiento sancionador.

Es importante significar que la redacción contempla que se pueda amonestar además de la imposición de la sanción correspondiente, indicando al final del concepto definido que se amonestará a quien haya realizado una “... mala práctica por la que se haya originado la comisión material de hechos susceptibles de sanción”, lo que implica que, al menos se debe haber registrado esta comisión de hechos susceptibles de ser sancionados aunque, como veremos después, lo correcto sería establecer la sanción de manera inatacable para emitir una amonestación, ya que esta no es más que una consecuencia de una conducta infractora susceptible de ser sancionada.

Por ello se introduce la hipotética posibilidad de un “doble castigo” sin que

lesione el principio de *non bis in idem*; aunque normalmente no coincidirán ambas (sanción y amonestación) en el destinatario puesto que la amonestación recae siempre en una persona física, la subjetivamente responsable (relación causa-efecto) de la conducta infractora, y la sanción pecuniaria suele imponerse a una persona jurídica, siempre el titular de la instalación; en los casos de coincidencia entre la persona física materialmente responsable y la persona física titular de la instalación, quizá no tenga mucho sentido además de sancionar, amonestar, con el riesgo de que en este supuesto sí que podría interferir el principio *non bis in idem*. En realidad, consideramos que la amonestación está contemplada y prevista para evitar que la persona física materialmente responsable de los hechos quede liberada de cualquier reproche ante la sanción impuesta al titular, normalmente persona jurídica.

La amonestación debe ser hecha por escrito; la Ley establece esta formalidad con una múltiple finalidad: para que quede constancia, huyendo o distanciándose de las “reprimendas” personales de carácter verbal *in situ* que pudiera efectuar un representante del Consejo de Seguridad Nuclear y, en definitiva, para que el amonestado pueda incluso efectuar alegaciones de algún modo (aunque no está



Sede del Ministerio de Industria, Energía y Turismo, en Madrid.

previsto expresamente tampoco se excluye) contra ese acto administrativo que en definitiva supone la amonestación por escrito.

No parece que deba seguirse necesariamente un expediente administrativo como tal de cara al amonestado para realizar la amonestación: al menos la Ley no lo prevé; lo que sí es cierto es que deberá haber un procedimiento interno para la formación de voluntad previa que justifique esta decisión, lo que tendrá que hacerse cuidadosamente considerando que debe estarse en condiciones de acreditar la negligencia existente, la responsabilidad a través de una relación de causa-efecto, la existencia de lo que la Ley denomina una “mala práctica” y que haya originado la comisión material de hechos susceptibles de sanción. Por esto, un principio de cautela aconseja que la amonestación como tal se efectúe una vez que la imposición de la sanción sea firme, aun cuando, de acuerdo con el tenor literal de la norma, se pueda llevar a cabo en el mismo momento en que se propone la apertura del expediente sancionador o incluso en un momento anterior.

Finalmente, cabe decir que es el Consejo de Seguridad Nuclear el facultado para imponer la amonestación, con lo que será la Presidencia de la entidad o el propio Pleno los que tendrán la competencia para llevarla a cabo, de acuerdo con los artículos 36 y 24 del Estatuto del CSN, aprobado por Real Decreto 1440/2010, de 5 de noviembre, salvo que se delegue dicha facultad.

### **Del catálogo de infracciones**

Además del básico principio de legalidad, que se cubre con la inclusión del catálogo sancionador en uno de los capítulos de la Ley 25/1964, de Energía nuclear, en el ámbito penal destaca igualmente el de tipicidad que debe observarse también cuidadosamente en los regímenes sancionadores de carácter administrativo por analogía.

En este sentido se ha procurado establecer en la redacción un catálogo lo bastante expresivo, rico en tipología y especificidad, pero que al mismo tiempo contemple en algunos apartados descripciones suficientemente genéricas, con sumo cuidado para no producir indefensión por indefinición hacia el presunto infractor, y también tratando de evitar que se filtren por debajo de la puerta de la impunidad una serie de conductas inabarcables por su multiplicidad en un catálogo cerrado, cuando la experiencia enseña que se producen con cierta frecuencia.

Se ha intentado conseguir el ponderado balance entre la precisión deseable, que supone incardinar la conducta infractora con la exactitud en el tipo previsto en la norma, y el intento de abarcar cualquier caso posible para evitar que se filtren o escapen sin sanción una serie de conductas que no pueden tipificarse más en detalle con el modelo de rango que permite una norma sancionadora incapaz de describir los cientos de conductas infractoras que pueden producirse en la realidad. Por ello es difícil llegar a conseguir el balance adecuado que permita garantizar la seguridad jurídica del infractor, sin que se vea mermado su derecho de defensa, y creo que con el actual texto se ha conseguido en gran parte el objetivo.

También puede observarse el esfuerzo que se puso en la redacción al tratar de condensar o aquilatar recopilando sintéticamente el conjunto de normativa material susceptible de resultar infringida (Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas; de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes; sobre Cobertura de Riesgos Nucleares, etc), en un catálogo único que evite la dispersión y, por lo tanto, la inseguridad jurídica inherente a la misma; además de considerar también y dar cobertura, a la luz de la experiencia, las infracciones que se cometen por vulneración de los términos y

condiciones de las autorizaciones y del contenido de las instrucciones del Consejo de Seguridad Nuclear, que en los últimos años han alcanzado un número y desarrollo tan importante que hoy se pueden considerar, sin duda, como la mayor fuente del derecho material en este sector y, en este sentido, la mayor causa de las infracciones que se producen por violación de su contenido.

El catálogo que, como ya se ha dicho, es lo suficientemente preciso y al mismo tiempo flexible para dar cabida a la mayoría de las infracciones que se cometen, se condensa en el artículo 86 de la Ley 25/1964, de Energía Nuclear, bajo el nombre de “infracciones”; este extenso artículo se divide en tres apartados:

a) Infracciones muy graves, donde se efectúa la enumeración más prolija, hasta 21 tipos, alguno de ellos con párrafos densos, frondosos y llenos de posibles subtipos de diversa índole.

b) Infracciones graves, con un número más reducido (ocho tipos) por remisión a las infracciones muy graves con el importante matiz y límite, por encima, de que no se derive peligro grave para la seguridad o salud de las personas ni daños graves a las cosas o al medio ambiente y, por debajo, que la conducta no esté tipificada como infracción leve; y finalmente.

c) Infracciones leves, con solo cinco tipos, y el primero de remisión a las descritas en el epígrafe de muy graves y con la condición de que no se derive peligro para la seguridad o la salud de las personas, o daño en las cosas o al medio ambiente, o se considere de escasa trascendencia.

### **De las posibles sanciones**

Podemos destacar, como en cualquier catálogo sancionador, las sanciones de multa que aparecen discriminadas en relación al tipo de instalación infractora, como decíamos al principio, y establece rangos muy amplios para facilitar la

ponderación de la sanción en función de los criterios o circunstancias del artículo 88 de la Ley 25/1964, y del principio de proporcionalidad.

Pero además, y haciendo abstracción de la interesante discusión de si pueden considerarse sanciones *stricto sensu* o no, en cualquier caso no debemos olvidar la existencia del apercibimiento, art. 91.3, ni la amonestación, 91.4, ambos contemplados en la Ley 25/1964; y finalmente las sanciones accesorias, que pueden imponerse además de la sanción pecuniaria, entre las que la norma menciona la retirada o suspensión temporal de las autorizaciones, licencias o inscripción en registros, cuya efectividad se asegurará con la intervención o el precintado de las sustancias nucleares, de los materiales radiactivos o equipos productores de radiaciones ionizantes, o a la implantación de cualquier medida de carácter provisional que resulte aplicable; o bien la inhabilitación temporal o definitiva al acceso a la condición de titular de cualquier tipo de autorización o licencia regulada en esta materia; podrá acordarse además la intervención inmediata del combustible nuclear o de los materiales radiactivos y la consiguiente prohibición para adquirir nuevas cantidades de combustibles o materiales, en tanto no hayan desaparecido las causas que motivaron dicha intervención.

### Régimen competencial

Las facultades del Consejo de Seguridad Nuclear en relación con las infracciones y sanciones en materia nuclear son muy amplias, y se pueden discriminar de la siguiente manera:

—Proponer la iniciación del correspondiente expediente sancionador, respecto de aquellos hechos que pudieran ser constitutivos de infracción en materia de seguridad nuclear, protección radiológica o protección física, poniendo en conocimiento del órgano al que corresponda incoar el expediente tanto los

hechos constitutivos de la infracción apreciada como las circunstancias relevantes que sean necesarias para su adecuada calificación; además en expedientes no iniciados a su instancia, el CSN emitirá con carácter preceptivo un informe en el plazo de tres meses, para la adecuada calificación de los hechos objeto del procedimiento; también lo emitirá cuando, si bien el expediente ha sido iniciado a instancia del CSN, consten en el procedimiento otros datos además de los comunicados por dicho ente.



El CSN publica regularmente la normativa que afecta a las instalaciones nucleares y radiactivas.

—Apercibir al titular, de modo alternativo a la propuesta de expediente sancionador.

—Amonestar por escrito a la persona física responsable de la realización de una mala práctica.

La competencia para la iniciación e instrucción de los expedientes sancionadores en el ámbito de la Administración del Estado corresponderá a los órganos que integran la Dirección General de Política Energética y Minas; y para la imposición de las sanciones, dependiendo de su gravedad y en función del tipo de instalación infractora, la competencia

puede recaer desde en el director general hasta en el Consejo de Ministros.

El órgano competente para imponer las sanciones podrá adoptar las medidas cautelares previstas en el artículo 92 (medidas de corrección, seguridad o control que impidan la continuidad en la infracción o en la producción del riesgo o daño; precintado de aparatos o equipos; incautación de materiales o equipos; suspensión temporal, parcial o total del funcionamiento de las instalaciones o de la ejecución de las actividades).

### Prescripción

Aparece regulada en el artículo 93, y establece una prescripción para las infracciones y otra para las sanciones, en cinco, tres y un año, dependiendo de que se trate de infracciones/sanciones muy graves, graves o leves.

La particularidad del régimen de la prescripción se presenta en la práctica cuando se trata de determinar cuáles son las infracciones de carácter continuado: el texto dice que en estos casos la fecha inicial del cómputo será la de la finalización de la actividad, la del último acto en el que la infracción se consume o en el momento en que se detecte por parte de

la administración competente la existencia de la infracción.

El problema estriba en determinar qué hemos de considerar como infracción continuada, que es la que no se consuma en el momento de su comisión ya que se entiende cometida con carácter sucesivo (y no empezaría a contar el plazo de prescripción sino a partir de uno de los tres momentos descritos en el texto citado), y cuando estamos ante una infracción puntual o no continuada que se consuma en el momento de su producción.

A título de ejemplo, una situación que se produce con cierta frecuencia es la falta de notificación del titular al CSN sobre la ocurrencia de un suceso notificable en un plazo determinado previsto en la norma; si transcurrido ese plazo el titular continúa sin notificar ¿se debe entender que la infracción se sigue produciendo o bien se agotó cuando transcurrió el plazo para notificar?; con las consecuencias prácticas y trascendencia evidentes ya que si no prescribiera hasta que no se notifique o hasta que la administración lo descubre, esto supondría un acicate para el titular sobre el mantenimiento de la conveniencia de notificar para atenuar la sanción (circunstancias j) y l) del artículo 88 de la Ley 25/1964), puesto que no podría esperar a la prescripción por el transcurso del tiempo ya que la obligación de notificar, si bien tiene un plazo, existe siempre (con esta interpretación) aunque ese plazo ya hubiera transcurrido; pero al contrario genera inseguridad jurídica y resulta complejo coherente la existencia del plazo con la figura de la prescripción ya que naturalmente cabe pensar que si se pone un plazo es para atenernos a él en cuanto a la obligación que contempla.

En definitiva, la cuestión relativa a la infracción continuada produce mucha controversia en el terreno de la casuística y hay que echar mano de la doctrina y de la jurisprudencia para tratar de iluminar este proceloso sendero; a título de ejem-

plo podemos citar la sentencia dictada por el Tribunal Supremo, Sala de lo Contencioso-Administrativo, Sección Sexta, de 16 de marzo de 2010, que aporta alguna luz: "...este hecho no puede ser caracterizado como una infracción continuada del artículo 11 de la Ley Orgánica de Protección de Datos, fundamentalmente porque no hay una pluralidad de acciones. Sin pluralidad de acciones no cabe hablar de infracción continuada, como destacan, entre otras, las sentencias de esta Sala atinadamente citadas por la recurrente. El apartado primero del art. 74 CP, norma reguladora del delito continuado en el derecho español, cuya precisa definición es trasladable al ámbito del derecho administrativo sancionador establece: 'No obstante lo dispuesto en el artículo anterior, el que, en ejecución de un plan preconcebido o aprovechando idéntica ocasión, realice una pluralidad de acciones u omisiones que ofendan a uno o varios sujetos e infrinjan el mismo precepto penal o preceptos de igual o semejante naturaleza, será castigado, como autor de un delito o falta continuados, con la pena señalada para la infracción más grave, que se impondrá en su mitad superior.' Es claro, así, que la infracción continuada exige una pluralidad de acciones ilícitas de naturaleza semejante, guiadas por una única intención. La finalidad de esta figura es evitar que, tratándose de un designio unitario, el infractor pueda verse favorecido por la escasa entidad de la sanción correspondiente a cada una de las acciones ilícitas singularmente consideradas".

En definitiva, pues, se trata de una cuestión proclive a las interpretaciones y que se irá asentando a medida que los tribunales vayan pronunciándose sobre los casos concretos que la práctica va generando.

### **Procedimientos internos de garantía de calidad**

Al margen de las normas jurídicas referidas con carácter general y con in-

cidencia en los procedimientos sancionadores (ya hemos dicho que la principal es la Ley 25/1964), con carácter doméstico y no normativo y como mejora en el proceso de garantía de calidad en la gestión de los procedimientos internos, hemos de destacar una serie de ellos que tienen incidencia especial en la tramitación de los expedientes sancionadores dentro del propio CSN (es decir, no en el procedimiento sancionador como tal que se tramita ante el órgano competente, sino en el *iter* previo que debe seguirse para la formación de voluntad del CSN en este ámbito, para apercibir y amonestar y para proponer la incoación de un expediente sancionador).

En este sentido, hacemos mención del principal procedimiento: el PG IV 05 llamado "Actuaciones del Consejo en procedimientos sancionadores en materia de seguridad nuclear y protección radiológica"; existen algunos más de carácter colateral al citado pero merecedores de ser consultados, como los PG IV 03 "Inspección y control de instalaciones nucleares y radiactivas del ciclo del combustible", PG IV 06 "Control de instalaciones radiactivas y otras actividades reguladas conexas", PG IV 07 "Sistema Integrado de Supervisión de Centrales (SISC)", y otros.

La existencia de estos procedimientos internos permite, en la medida en que es posible, que los acuerdos que el CSN adopta en el terreno sancionador estén dotados de un bagaje o protocolo de hitos e intervenciones previas que le aproximan a la fiabilidad, la objetividad, el rigor y la rectitud en la toma de decisiones, de tal manera que se evite en lo posible la discrecionalidad, la arbitrariedad y el oportunismo, facilitando que el particular sepa en todo momento, siguiendo el principal designio de Ortega, a qué atenerse, lo que resulta fundamental en esta materia. ©

# Aplicaciones industriales de las radiaciones ionizantes y requisitos de seguridad y protección radiológica

■ Texto: **Sofía Suárez, Dolores Aguado, Blanca Alfonso, M<sup>a</sup> Emilia Rodrigo, M<sup>a</sup> Luz Rodríguez, Belén Tamayo y Laura Urteaga** | Técnicas del Área de Instalaciones Radiactivas Industriales del CSN. ■

Las aplicaciones de las radiaciones ionizantes se basan en los fenómenos de interacción de la radiación con la materia, como son: ionización, excitación, radiación de frenado y retrodispersión, que producen las partículas cargadas a su paso a través de la materia, efecto fotoeléctrico, efecto Compton y producción de pares que se producen con la radiación electromagnética, o bien dispersiones elásticas e inelásticas o fenómenos de absorción que se producen con los neutrones.

La gran variedad de procesos físicos involucrados en estas interacciones son la causa de que el número de aplicaciones posibles sea muy elevado. Los fenómenos de interacción antes resumidos, a efectos prácticos y justificativos de las aplicaciones de las radiaciones ionizantes se traducen en:

—Alteración de las características del haz de radiación: fenómeno utilizado en las medidas de nivel, espesor, densidad, humedad y radiografía.

—Alteración de las características del medio irradiado: fenómeno utilizado en la esterilización de productos, conservación de alimentos y otros.

—Alteración de la naturaleza de la radiación seguida de la emisión de radiaciones ionizantes: Este fenómeno es la base de las técnicas analíticas.

En este artículo, se hace una revisión general de los distintos campos de aplica-

ción de las radiaciones ionizantes en la industria española y se describen para cada uno de ellos los requisitos de seguridad y protección que se requieren para que su uso se lleve a cabo de forma segura.

## Marco regulador

El marco legislativo que regula la posesión y el uso de las radiaciones ionizantes es muy completo y está constituido por:

—Ley 25/1964 sobre Energía Nuclear y la Ley 15/1980 de Creación del Consejo de Seguridad Nuclear.

—Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas, RINR, (Real Decreto 1836/1999) que, entre otras cosas, establece el régimen administrativo de autorizaciones y la clasificación de las instalaciones.

—Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes (Real Decreto 763/2001), que establece las normas de protección radiológica para el personal expuesto y para el público. (Ambos reglamentos constituyen la trasposición de la Directiva 96/29/EURATOM).

—Además, el Real Decreto 229/2006 sobre el control de fuentes radiactivas encapsuladas de alta actividad y fuentes huérfanas (trasposición de la Directiva 122/203 de EURATOM).

En la actualidad está en fase avanzada de elaboración una nueva directiva europea de protección radiológica, cuya aprobación está prevista antes de que

concluya 2013. Tras su aprobación, los Estados miembros dispondrán de un periodo de cuatro años para su trasposición.

## Control regulador sobre los materiales y equipos radiactivos o generadores de radiaciones ionizantes

La entrada en España de materiales y equipos radiactivos o generadores de radiaciones ionizantes está regulada en el Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas, donde se requiere autorización para la comercialización de estos productos, tanto si por sus características han de clasificarse como instalaciones radiactivas, como si están incluidos en las exenciones previstas en nuestra legislación. También está regulada la introducción en el mercado español de productos de consumo.

El suministro de fuentes y equipos a los usuarios dentro del territorio nacional, solo puede ser realizado por empresas autorizadas una vez que se ha comprobado, que tanto la instalación receptora como los productos que se pretende comercializar, reúnen los requisitos para su distribución y utilización en condiciones de seguridad.

En cualquier caso, a la comercializadora autorizada se le requiere informar trimestralmente al CSN de los suministros efectuados y disponer de los medios para, en los casos que proceda, la devolución al país de origen de las fuentes radiactivas fuera de uso.

Cuando los productos distribuidos por la comercializadora autorizada están exentos, o su uso ha quedado exceptuado de su condición de instalación radiactiva mediante una aprobación de tipo, el usuario final no necesita autorización y por ello, el único conocimiento que las autoridades competentes tienen sobre la identificación, tanto del material y equipos distribuidos, como del destinatario del mismo, es a través de los informes periódicos de la empresa comercializadora.

Para autorizar la introducción de un nuevo producto de consumo en el mercado español, entendiéndose como tal “cualquier producto manufacturado, aparato o fuente diversa en el que se hayan incorporado radionucleidos deliberadamente y que pueden ser suministrados a miembros del público sin especial vigilancia y control”, además de que la práctica debe estar previamente justificada, el material radiactivo que incorpore ha de ser exento, o ha de ser susceptible de acogerse a una de las exenciones previstas en nuestra reglamentación; por lo que, como en el caso anterior, la información sobre el material y los equipos distribuidos y su destinatario solo puede obtenerse de la comercializadora autorizada en sus informes periódicos.

Cuando el material radiactivo—o los equipos que incorporen material radiactivo o sean generadores de radiaciones ionizantes— a comercializar entra dentro de la clasificación de instalación radiactiva, además del control que se ejerce a través de la comercializadora, queda sometido al régimen de autorizaciones, al cumplimiento de las especificaciones que le sean de aplicación de la Instrucción 28 del Consejo y a las actuaciones de inspección y control del CSN.

En España, según los datos obtenidos del informe anual de 2012 del CSN al Congreso de los Diputados, hay 767 instalaciones radiactivas industriales



Figura 1. Distribución de las instalaciones radiactivas industriales por comunidades autónomas.

distribuidas por comunidades autónomas de acuerdo con la figura 1

### Tipos de emisores radiactivos

Los emisores radiactivos que se utilizan en aplicaciones industriales pueden ser:

#### Equipos generadores de rayos X y aceleradores de partículas

Tanto los equipos de rayos X como los aceleradores de partículas se emplean en multitud de aplicaciones. La seguridad de los equipos se apoya en el diseño, soportado por la normativa internacional, que incluye sistemas de seguridad como limitaciones de radiación de fuga, indicación de emisión y de corte de emisión. Todos los equipos deben ir señalizados de acuerdo a sus características técnicas y a su condición de equipo emisor de radiaciones ionizantes.

#### Material radiactivo no encapsulado

Material radiactivo en forma líquida, sólida o gaseosa contenido en recipientes cerrados pero no sellados. Su principal aplicación es su utilización como traza-

dor para el seguimiento y control de algún proceso industrial.

#### Fuentes radiactivas encapsuladas

Material radiactivo encerrado en una capsula sellada de material resistente o aquellas en las que el material radiactivo se encuentra sólidamente incorporado en materiales sólidos inactivos, capaces de mantener la hermeticidad bajo las condiciones de uso para las que han sido diseñadas (figura 2).

En la mayoría de las aplicaciones industriales las fuentes radiactivas están ubicadas en el interior de un equipo o cabezal que le proporciona blindaje en su posición de almacenamiento.

Los equipos varían dependiendo de la actividad, tipo y energía de la radiación de la fuente radiactiva que contienen, y de la aplicación específica para la que el equipo está destinado. Todos ellos deben ir señalizados con el trébol radiactivo, así como con la información relativa al isótopo que contienen y a su actividad, nombre del fabricante, modelo y número de serie, fecha de fabricación y contenido radiactivo máximo autorizado.

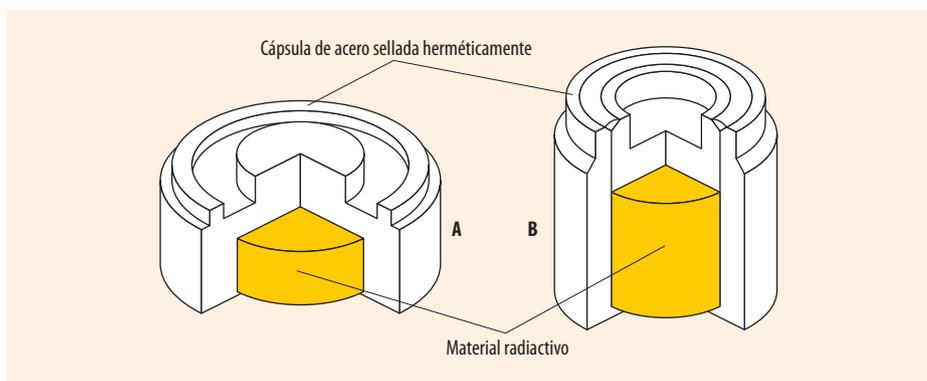


Figura 2. Modelos de fuentes radiactivas: A. Típica fuente de americio-241 en forma de disco. B. Típica fuente de cesio-137 en forma cilíndrica.

El diseño y características de estos equipos y fuentes se irán describiendo para cada una de las aplicaciones industriales que analizaremos.

Para evaluar la seguridad de las fuentes radiactivas, se toma como referencia la norma ISO 2919, en la que se establecen los requisitos mínimos de resistencia a los ensayos de temperatura, presión externa, impacto, vibración y punción que las fuentes deben cumplir en función del uso. Cada ensayo tiene distintos grados de severidad que se numeran del 1 al 6 en orden creciente.

Además, muchas de las fuentes radiactivas que se utilizan en distintos campos de aplicación, por requerimiento de la reglamentación de transporte, han de ser clasificadas como material radiactivo en “forma especial” y para ello han debido superar ensayos especiales de caída libre, percusión, calor e inmersión.

Todo esto nos da idea de los estrictos requisitos de diseño y fabricación que se exigen a las fuentes radiactivas, para garantizar al máximo su integridad o hermeticidad.

En cuanto a la evaluación del riesgo radiológico y la peligrosidad de dichas fuentes, encontramos en la normativa dos maneras de clasificar las fuentes:

—El Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) establece un sistema para clasificar las fuentes radiactivas en función de su potencial para causar daños a la salud; y agrupa las fuentes y las prácticas en las que se utilizan en cinco categorías, de la 1, extremadamente peligrosa, a la 5 con poca probabilidad de peligro.

—La directiva europea 122/203, y su trasposición a la reglamentación española mediante el Real Decreto 229/2006,

definen el concepto de fuente de alta actividad en términos de actividad contenida de un determinado radionucleido, en el momento de la fabricación o primera comercialización. En el cuadro 1 podemos ver la comparación entre ambas clasificaciones.

En la nueva directiva europea de protección radiológica está prevista la unificación de este concepto mediante la utilización del valor D para definir las fuentes de alta actividad.

Los poseedores de fuentes de este tipo están sometidos a una serie de requerimientos cuyo objetivo último va encaminado a ejercer un control sobre las mismas, “desde la cuna a la tumba”, es decir, desde el momento de su fabricación al de su gestión como residuo.

## Campos de aplicación de las radiaciones en la industria

### Control de procesos industriales

Incluye todos los medidores radiactivos incorporados en línea de un proceso industrial, que se usan para el control de determinados parámetros de interés, mediante análisis o medida instrumental. Estos equipos están constituidos por uno o varios cabezales radiactivos, que actúan de emisor, y un bloque receptor que contiene uno o varios detectores de radiación.

En función del principio de funcionamiento en que se basan, se establecen dos grupos: uno con los equipos medidores (de nivel, densidad, espesor, gramaje, caudal etc.) y otro con los equipos analizadores de materiales (como cemento, minerales, carbón, explosivos, etc.)

### Equipos medidores

Utilizan la medida de la radiación transmitida o retrodispersada en un material para medir una variable de interés en un proceso productivo, utilizando

### Cuadro 1. Procedimientos diferentes y objetivos diferentes

Son fuentes de alta actividad las de las categorías 1, 2 y 3 y algunas de la 4 de la clasificación del OIEA

#### Categorías del OIEA

- Establece un límite de actividad (D) sobre el cual la fuente radiactiva es considerada peligrosa, debido a la potencialidad de causar efectos deterministas.
- Los valores de D se han establecido en base a escenarios de exposición interna y externa.

#### Directiva 122/203

- Establece para cada radionucleido el nivel de actividad por encima del cual la fuente se considera de alta actividad.
- El nivel se ha establecido considerando que la tasa de dosis sea de 1 mSv/h a un metro.

posteriormente el valor obtenido para regular el propio proceso.

Cuando la radiación atraviesa la materia, es absorbida y dispersada en un grado que dependerá de la naturaleza del material y del tipo y energía de la radiación ionizante. La atenuación del haz de radiación emergente aumenta con el espesor, densidad y el número atómico del material.

Los equipos incorporan los automatismos adecuados, no solo para medir el parámetro de interés (espesor, densidad, nivel, etc.) sino para controlar el proceso de fabricación, para que su valor esté siempre dentro de las tolerancias especificadas.

El cabezal radiactivo en este tipo de equipos puede tener como emisor una fuente radiactiva encapsulada o un equipo generador de rayos X, incorporados en un soporte blindado para atenuar y colimar la radiación ionizante. Dado su mayor riesgo radiológico, vamos a centrarnos en los equipos que incorporan fuentes radiactivas.

El radioisótopo se elige con la energía más adecuada al espesor y a la densidad relativos de la lámina del material que se mide. El objetivo es conseguir la óptima atenuación de la radiación y así obtener una señal de alta resolución para el sistema. Los radioisótopos más utilizados son el cesio-137 y el cobalto-60 como emisores gamma; el estroncio-90 y el kriptón-85, como emisores beta; el americio-241, como emisor gamma de baja energía. Se utiliza uno u otro en función de la naturaleza del material y de la variable a controlar.

La clasificación de las fuentes radiactivas de acuerdo a la norma ISO 2919 deberá ser como mínimo 43232. Esta deberá ser más exigente cuanto más agresivo sea el ambiente en que se instala el equipo y las condiciones que tiene que soportar, en cuanto a temperatura, corrosión y otras.

En cuanto al diseño de los equipos que incorporan la fuente radiactiva,

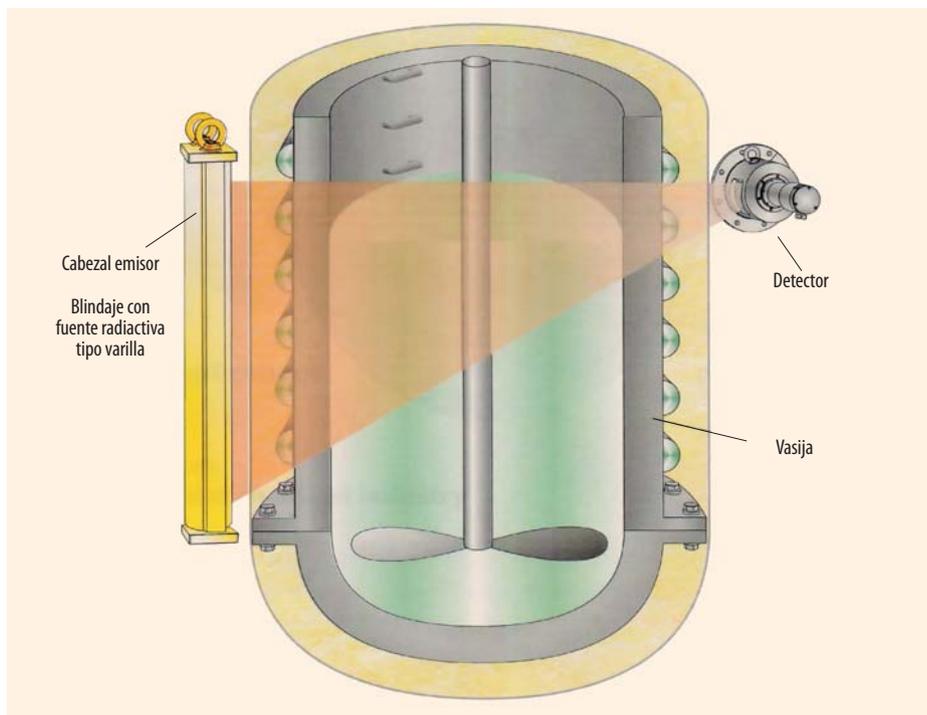


Figura 3. Control del nivel máximo y mínimo de un depósito.

debe ajustarse a normas internacionales, como la norma ISO 7205, cuyo cumplimiento implica suficientes garantías de seguridad. El cabezal donde va alojada la fuente dispone de un obturador que permite la emisión y corte del haz de radiación.

Respecto al riesgo radiológico y peligrosidad de las fuentes radiactivas usadas en este campo de aplicación, las actividades que se utilizan son muy variables y van desde los milicurios a unos pocos curios en su mayoría. No obstante, existen en España algunas fuentes para el control de láminas de acero que llegan a tener hasta 1,85 TBq (50 Ci) de cesio-137. Esto implica que en este campo de aplicación tenemos fuentes clasificadas como de alta actividad y otras que no lo son, y en cuanto a la clasificación basada a su peligrosidad (OIEA) se encuentran en las categorías 3 y 4.

El riesgo radiológico de las instalaciones donde se utilizan estos equipos es en general muy bajo, ya que se suelen instalar en zonas alejadas del personal

de la factoría y su operación es automática. Las operaciones de mayor riesgo son las de mantenimiento y sustitución de fuentes agotadas por otras nuevas. Estas operaciones solo puede realizarlas el personal autorizado y con capacitación y conocimientos en protección radiológica. Debido a todas estas circunstancias, el control dosimétrico del personal se suele llevar a cabo mediante dosimetría de área y suele ser suficiente con que una persona tenga licencia de supervisor para gestionar los aspectos de la protección radiológica, ya que el automatismo de los procesos hace innecesaria, en la mayoría de los casos, la existencia de personal con licencia de operador.

La mayor ventaja que presentan estos métodos de control o medida es que no hay contacto entre el radioisótopo y el material que se quiere controlar, por lo que la influencia del método de control sobre el proceso es mínima.

#### Equipos analizadores

El principio de funcionamiento de estos equipos se basa en las reacciones de

captura neutrónica ( $n, \gamma$ ) que muchos elementos presentan al ser bombardeados con neutrones térmicos.

Tras la reacción, se produce una emisión gamma inmediata en  $10^{-12}$  segundos, un núcleo excitado y una emisión gamma retardada, consecuencia de la desintegración radiactiva del núcleo excitado.

El fotón gamma inmediato se mide *in situ* ya que se emite en tiempos muy cortos. La energía de la radiación gamma detectada permite la identificación de los elementos de la muestra y la intensidad de las energías detectadas que conforman el pico característico nos revelará la concentración.

Esta técnica ha sido desarrollada comercialmente para el análisis del cemento, minerales y carbón. En los últimos años ha empezado a utilizarse para la detección de explosivos.

Permite el análisis en continuo de los elementos de las rocas obtenidas de la cantera. Una vez conocida la composición química de las materias primas, se puede establecer la dosificación adecuada de ellas para obtener el cemento de la calidad deseada. En el caso del carbón permite conocer su calidad.

Los equipos comerciales están constituidos por: cámara donde se encuentran el emisor y el detector, cinta transportadora del material que atraviesa la cámara y blindajes biológicos contra la radiación.

El emisor en estos equipos puede ser de dos tipos:

—Fuente radiactiva encapsulada de californio-252: los neutrones proceden de fisiones espontáneas del californio y la actividad total oscila entre 500 MBq y 1.000 MBq; por consiguiente, en muchos casos están clasificadas como fuentes radiactivas de alta actividad. Respecto a su clasificación ISO 2919 estas fuentes deben al menos tener la clasificación 43323

—Tubo generador de neutrones, que permite su generación de forma controlada y por tanto implica menor riesgo

radiológico. En los modelos autorizados en España, el generador de neutrones consiste en un mini acelerador que contiene una fuente de tritio de 3 Ci. Los neutrones se producen mediante la aceleración de un haz de deuterio que incide sobre un blanco de tritio y consiguen un flujo pulsado o continuo de neutrones prácticamente monoenergéticos de 14 MeV.

Respecto a la apreciación del riesgo en este tipo de instalaciones, dosimetría y requerimientos de personal con formación y licencias en protección radiológica, se aplica todo lo especificado para los equipos medidores.

### **Medida de densidad y humedad en suelos y sondeos**

Una de las aplicaciones de las radiaciones ionizantes es la medida *in situ* de la densidad o la humedad en suelos, bien mediante sondas de testificación, a las que se incorporan fuentes radiactivas encapsuladas, o utilizando equipos que ya las llevan incorporadas en su interior. En ambos casos se trata de dispositivos móviles que se transportan al lugar de trabajo y se les aplica la reglamentación de transporte de material radiactivo.

Las sondas se utilizan en prospecciones geofísicas a gran profundidad. La actividad de las fuentes radiactivas es mayor y en muchos casos fuentes clasificadas como de alta actividad que al no estar incorporadas en un equipo requieren de un embalaje independiente. El riesgo radiológico durante la operación es mayor que en el caso del uso de equipos.

Los equipos de medida de densidad y humedad de suelos se emplean a poca profundidad. El funcionamiento de estos equipos es de poco riesgo si los utiliza el personal preparado.

Las fuentes radiactivas más utilizadas son el americio-241/Be y el cesio-137. La fuente de americio-241/Be da lugar a una

radiación de neutrones termalizados por el agua presente en el terreno. La medida de los neutrones termalizados permite conocer la humedad del terreno. La medida de densidad se efectúa en base a la atenuación que experimenta la radiación gamma de la fuente de cesio-137 al atravesar el terreno.

Las fuentes radiactivas están doblemente encapsuladas en aluminio y acero, y cumplen con los requerimientos de la reglamentación de transporte para material radiactivo en “forma especial”.

Se requiere que el personal que opere con estos equipos tenga licencia de supervisor u operador. Aunque por las dosis que suelen recibir los trabajadores de este tipo de instalaciones pueden clasificarse como trabajadores tipo B, se exige dosimetría personal TLD, dado que el uso tanto de sondas como de equipos es de forma móvil y dificulta el establecimiento de una dosimetría de área.

Para realizar la vigilancia radiológica ambiental durante la operación con estos dispositivos se requiere el uso de detectores adecuados.

Estas instalaciones disponen de recintos fijos para el almacenamiento de los equipos, así como de recintos provisionales a pie de obra. Ambos deben cumplir los mismos requisitos de seguridad.

### **Sondas de testificación**

Las sondas se utilizan en la testificación para el reconocimiento de estratos en perforaciones de sondeos. La fuente radiactiva se transporta y almacena en un contenedor blindado, y es transferida a la sonda justo antes de ser bajada por el pozo. Esta operación se lleva a cabo con manipuladores a distancia, y es necesario establecer un área controlada alrededor del sondeo para prevenir la exposición del personal.

La sonda incorpora un detector de radiación y la determinación de la densidad o humedad se hace mediante la técnica de retrodispersión.

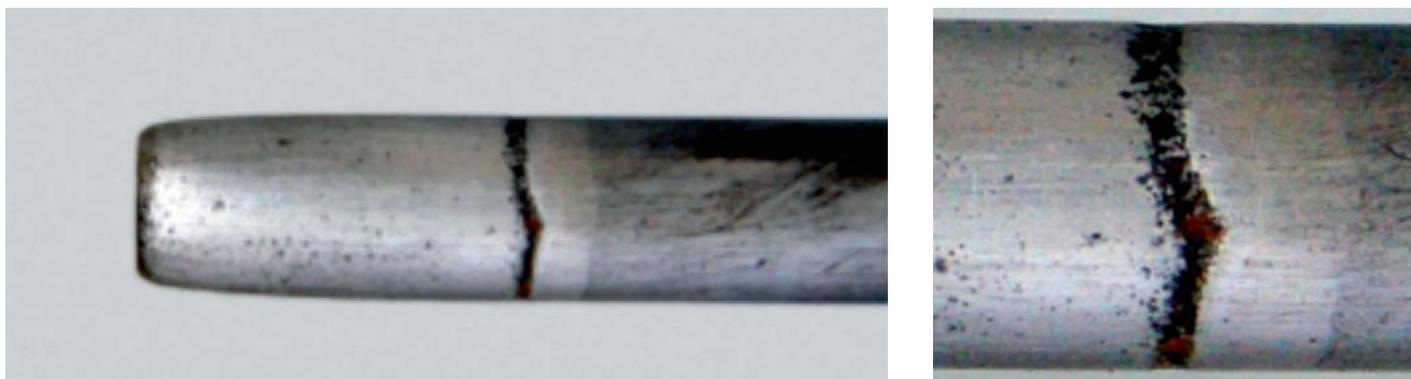


Figura 4. Estado de la varilla y de la zona de soldadura contenida en un equipo de medida de densidad y humedad en suelos.

Para la medida de la humedad se utilizan fuentes de americio-241/Be de actividad variable hasta 740 GBq (20 Ci), de californio-252 del orden de 925 GBq (25 mCi) y fuentes de cesio-137 hasta 74 GBq (2 Ci) para la medida de densidad. La clasificación exigida a estas fuentes según la ISO 2919 es 56522.

En la mayoría de los casos las fuentes que se utilizan en los sondeos se corresponden con la categoría 3 de la clasificación del OIEA, a excepción de algunas fuentes de americio-241/Be y californio-252 que son de categoría 2 y que según nuestra reglamentación pueden ser de alta actividad.

Las sondas, como cualquier equipo radiactivo, deben disponer de la señalización e identificación de la fuente radiactiva que incorporan.

### Equipos de medida de densidad y humedad en suelos

Estos equipos están básicamente constituidos por un emisor (una o más fuentes radiactivas), un blindaje que cubre al emisor (excepto en la medida) y un detector de radiación para realizar la medida, que recoge las radiaciones emergentes. Estos tres componentes van incorporados al equipo y el conjunto, dentro de su maleta de transporte, cumple la reglamentación de transporte como bulto tipo A. Cuando no está en uso, el equipo debe permanecer en el interior de su maleta.

Se utilizan fundamentalmente en la construcción de carreteras. Son equipos fuertes, robustos, para poder soportar las condiciones severas en que suelen trabajar.

Los modelos más usados tienen dos fuentes, la fuente de cesio-137 de 296-370 MBq (8-10 mCi) y la fuente de americio-241/Be de 1,48-1,85 GBq (40-50 mCi) de actividad. Los que incorporan una fuente pueden tener hasta 3,7 GBq (100 mCi) de americio-241.

La clasificación exigida para estas fuentes radiactivas según la ISO 2919 es 43333, pero las utilizadas normalmente superan esta clasificación (64444).

Las fuentes utilizadas se corresponden según la clasificación del OIEA con la categoría 4 y según nuestra reglamentación no son fuentes de alta actividad.

Habitualmente, la fuente de americio-241 permanece dentro del equipo en posición de seguridad y pasa a posición de medida al desplazarse una trampilla (medida por retrodispersión). La fuente de cesio-137 va unida a una varilla sonda que se desplaza por un tubo desde el interior del equipo a la posición de medida, en el exterior del equipo, tras separar una trampilla de salida (medida por transmisión).

El funcionamiento de estos equipos es de poco riesgo radiológico siempre que su manejo se realice tomando las medidas de seguridad y protección apropiadas (control de acceso, señalización y

balizamiento de la zona con dispositivos con destellos luminosos, vigilancia continua del equipo, verificaciones y mantenimiento preventivo, etc.); en el caso de los equipos con varilla-sonda: análisis adicional del estado de esta varilla y de la zona de soldadura.

### Radiografía

Las instalaciones de radiografiado industrial utilizan las radiaciones ionizantes para la obtención de imágenes en forma de placas radiográficas (grafía) o mediante escopía (imagen dinámica obtenida con un intensificador de imagen y que se recibe en un monitor de TV).

Los rayos X o gamma que llegan a la pieza que hay que inspeccionar sufren una atenuación al interactuar con la materia. Cuanto menor sea la masa atómica del material, más transparente será a esta radiación.

Para realizar radiografías industriales se pueden utilizar tres tipos de equipos:

—Gammágrafos, que incorporan una fuente radiactiva gamma.

—Equipos convencionales generadores de rayos X.

—Aceleradores (en menor medida), que tras acelerar electrones producen rayos X más energéticos que los equipos generadores de rayos X convencionales.

### Equipos de gammagrafía industrial

Cuentan básicamente con un contenedor blindado donde se aloja una fuente



Figura 5. Equipo de gammagrafía industrial.

radiactiva que emite radiación gamma, ensamblada en un portafuentes, y se complementa con elementos auxiliares como son el telemando y las mangueras.

Normalmente estos contenedores se corresponden con bultos de transporte tipo B(U) en el caso del iridio-192 y cobalto-60, y de tipo A en el caso del selenio-75.

El diseño de estos equipos y de sus accesorios, así como los ensayos que deben superar, deberá ajustarse al cumplimiento de la ISO 3999 o norma equivalente.

Según esta norma, los equipos utilizados para gammagrafía industrial se pueden clasificar en base tanto a su movilidad como a que la fuente pueda ser proyectada o no al exterior del equipo.

Las fuentes radiactivas normalmente son fuentes doblemente encapsuladas y según la reglamentación de transporte se trata de material radiactivo en “forma especial”.

La norma ISO 2919 establece que las fuentes radiactivas de gammagrafía deben superar los ensayos correspondientes a la clasificación 43515 para equipos que funcionen proyectando la fuente, mientras que para los que no la proyectan establece una clasificación 43313.

El radionucleido más utilizado en España para esta técnica es el iridio-192 con una actividad máxima de 5 TBq (135 Ci).

Otros isótopos utilizados son: cobalto-60 con actividad de 3,7 TBq (100 Ci), selenio-75 con una actividad de 2,96

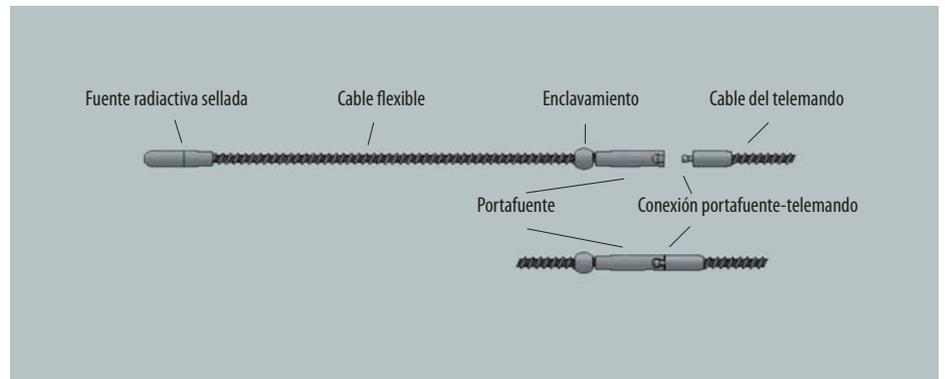


Figura 6. Esquema de un portafuentes flexible contenido en un equipo de gammagrafía industrial.

TBq (80 Ci), y muy esporádicamente iterbio-169 con una actividad de 296 GBq (8 Ci).

Las fuentes utilizadas en gammagrafía se corresponden, según la clasificación de la OIEA, con la categoría 2, exceptuando alguna fuente que es de categoría 3. Según nuestra reglamentación todas ellas son fuentes de alta actividad.

Los contenedores gammagráficos más usados en España son portátiles, y funcionan proyectando la fuente al exterior del equipo.

Estos contenedores suelen disponer de un blindaje de uranio empobrecido, al que se le ha practicado un canal o conducto, en forma de S o recto.

Los contenedores gammagráficos incorporan dispositivos de seguridad que permiten bloquear la fuente en el interior del contenedor e impedir su desplazamiento desde su posición de seguridad hasta que se haya efectuado una correcta conexión entre el contenedor y los elementos auxiliares: telemando y mangueras.

El portafuentes puede ser articulado, compuesto por eslabones, o un cable de acero flexible.

El telemando es un dispositivo auxiliar que permite, a distancia, posicionar la fuente en el punto de trabajo. Es un cable flexible dentro de una manguera, su accionamiento puede ser manual o automático y lleva ensamblado el mecanismo “conector macho” para unirlo con el “conector hembra” del portafuen-

tes, que se encuentra en el contenedor gammagráfico. Esta pieza es un componente de seguridad del equipo, ya que una alteración en el conector puede suponer el desenganche del portafuentes.

Los telemandos automáticos incorporan dispositivos programables que permiten:

- Fijar el tiempo de exposición, de forma que una vez transcurrido, la fuente retorne automáticamente a la posición de seguridad
- Fijar un tiempo de retardo para el inicio de la exposición de la fuente, que permita que el operador se proteja de la radiación.

Estos dispositivos tienen señalización luminosa y acústica y de mecanismos de retorno manual de la fuente.

Las mangueras son dispositivos auxiliares que se conectan a la salida del contenedor gammagráfico, y por ellas se dirige la fuente al punto que se va a radiografiar.

Siempre que el tipo de trabajo lo permita, se coloca un colimador acoplado al extremo de la manguera puntal, que reduce significativamente la dosis asociada a la operación.

Un tipo de gammágrafos diseñado específicamente para trabajar en el interior de largas tuberías es el denominado *crawler*.

Los *crawler* pueden llevar a cabo, de forma continua, radiografías de solda-

duras; por ejemplo en gaseoductos y oleoductos.

El funcionamiento del equipo es automático y responde a una secuencia lógica iniciada o detenida por el operador mediante el accionamiento de un sistema de control remoto (contenedor blindado que incorpora una fuente radiactiva normalmente de cesio-137)

El operador va situando el control remoto en la posición que se va a radiografiar de forma que al llegar el *crawler* a esa posición se detenga y empiece la secuencia de radiografiado.

### Equipos generadores de rayos X y aceleradores

Los equipos de rayos X utilizados en esta técnica tienen un potencial de 120 a 450 kV e intensidades de 20 a 200 mA.

Cualquier equipo de rayos X consta de tres partes principales: tubo de rayos X, consola de control y generador de alta tensión, y puede trabajar en una instalación fija o de forma móvil.

Otro tipo de equipos para realizar radiografía industrial son los aceleradores de electrones a los que se hace chocar contra un blanco produciendo rayos X de los denominados “duros”, que tienen un poder de penetración muy superior a los equipos de rayos X convencionales. Por ello, para poder utilizarlos se requiere siempre una instalación blindada y con enclavamientos de seguridad, diseñada para este uso.

Comparando los diferentes tipos de equipos anteriormente descritos, los gammágrafos presentan un riesgo adicional ya que incorporan fuentes radiactivas y, por tanto, requieren medidas de control para el almacenamiento y el transporte de las fuentes, y también para garantizar que la fuente radiactiva vuelva a la posición de seguridad una vez finalizada cada exposición.

La elección de un tipo de equipo u otro se realizará en función del tipo y espesor del material a ensayar y de la

norma aplicable en base a los requisitos de calidad.

### Modo de operación

Los trabajos de radiografiado se pueden realizar en instalaciones diseñadas al efecto o búnker (radiografía fija), o *in situ*, en el lugar donde se encuentre la pieza a radiografiar (radiografía móvil).

El primero tipo es un espacio cerrado y construido para contener la radiación ionizante y proporcionar suficiente protección a las personas en las zonas contiguas. Todos los recintos blindados deben estar provistos de dispositivos de señalización y enclavamientos de seguridad para el control de acceso a la zona de radiografiado. En estas instalaciones el puesto de control estará situado en el exterior del recinto blindado.

La radiografía móvil presenta unas dificultades añadidas, como su frecuente realización en horario nocturno (cansancio, sueño), las condiciones de iluminación no siempre son adecuadas, las zonas específicas a radiografiar suelen encontrarse en zonas de difícil acceso e implican complejas condiciones de trabajo, y otras.

Desde el punto de vista de la seguridad y la protección radiológica, siempre que sea posible se deberá efectuar radiografía fija ya que el búnker aporta una seguridad adicional a la operación de tipo móvil.

Por tanto, para la radiografía móvil es de especial importancia la formación del personal de operación, la adecuada planificación de los trabajos por el responsable de protección radiológica y la disponibilidad de procedimientos detallados de actuación, tanto en operación normal como de emergencia. La principal herramienta de protección radiológica será la correcta aplicación de los procedimientos.

Debido al riesgo de estas actividades, todo el personal que efectúe radiografías deberá disponer de licencia de operación

en este campo. Además, para la realización de gammagrafía móvil se requiere que el operador vaya acompañado de un ayudante. Todos estos trabajadores estarán clasificados como categoría A, y por tanto portarán dosímetro TLD. Asimismo, los que realicen gammagrafía móvil deberán portar, también, un dosímetro de lectura directa provisto de alarma.

Cualquier operación de radiografía precisa disponer de un equipo de detección y medida de la radiación para realizar la vigilancia radiológica ambiental y la acotación de las zonas en el caso de operaciones móviles.

La organización de la protección radiológica de estas instalaciones es compleja debido al número de delegaciones que poseen. Se requieren un responsable en protección radiológica en cada instalación que disponga de algún equipo radiactivo.

Estas instalaciones disponen de recintos fijos para el almacenamiento de los equipos, así como de recintos provisionales a pie de obra. Ambos deben cumplir los mismos requisitos de seguridad.

Por iniciativa del CSN se han llevado a cabo varios planes encaminados a mejorar la protección radiológica en las instalaciones de gammagrafía móvil, con el objetivo principal de aumentar el compromiso de los titulares con el principio ALARA (Revista *Seguridad Nuclear*, nº 22, 2002).

Para una mejor gestión de las dosis del personal, se ha recomendado a estas instalaciones que establezcan unos niveles de dosis de referencia, cuya superación supondría la puesta en marcha de actuaciones de investigación y control por parte de su propia organización de protección radiológica.

### Irradiación industrial

La irradiación industrial se utiliza esencialmente en las aplicaciones cuya finalidad es producir alteraciones en la materia, mediante radiaciones ionizantes,

como consecuencia de los fenómenos de ionización, formación de radicales libres y excitación molecular que se producen al incidir la radiación sobre la materia.

Los cambios producidos en la materia, cuando se irradia de forma controlada, son cambios buscados y útiles, tales como la mejora de sus propiedades físicas, inhibición de la reproducción celular de microorganismos y la esterilización, entre otros.

Las aplicaciones de la irradiación industrial más usuales o demandadas son: esterilización, higienización y conservación de productos médicos-quirúrgicos, farmacéuticos, de laboratorio y cosmética, así como conservación de alimentos, mejora de las propiedades térmicas y mecánicas de plásticos, corchos y coloración de vidrios.

La esterilización de productos sanitarios y material médico es una tecnología en pleno desarrollo en los países más avanzados, tanto con irradiadores con fuentes radiactivas como con aceleradores de partículas. Es una técnica muy bien aceptada internacionalmente, debido a su eficiencia frente a técnicas en las que se emplean altas temperaturas o productos químicos convencionales, ya que se trata de un método limpio, sencillo, económico y seguro, basado en las propiedades biocidas de las radiaciones ionizantes.

La finalidad de la irradiación de alimentos es mejorar su conservación y su calidad sanitaria, como medio para garantizar el abastecimiento seguro y suficiente de alimentos, y promover el comercio internacional. Según el *Codex alimentarius*, la energía de la radiación suministrada a los alimentos debe garantizar la ausencia de reacciones nucleares en los mismos ( $E < 5$  MeV para radiación  $\gamma$  y  $E < 10$  MeV para electrones acelerados).

Los plásticos irradiados se vuelven más duraderos, fuertes y resistentes al fuego, debido a la formación de radicales

libres en las cadenas de los polímeros y a su posterior reticulación. Este efecto es usado, entre otras aplicaciones para: aumentar la adhesión de composites en la industria aeronáutica, el secado de tintes en técnicas de xerografiado, el vulcanizado de neumáticos en la industria automovilística, etc. Un caso singular de este tipo de procesos es la vulcanización del látex mediante radiaciones ionizantes, que sustituye a los métodos químicos, que conllevan problemas alérgicos de los usuarios de productos de utilización muy difundida, tales como guantes, chupetes, juguetes, preservativos, fibras elásticas, etc.

Existen otras muchas aplicaciones de la irradiación industrial, tales como la desinsectación de maderas, la conservación de libros antiguos, la esterilización de insectos para el control de plagas, la irradiación de embalajes vacíos, etc.

### Técnicas de irradiación

Las técnicas de irradiación más utilizadas comercialmente tienen como emisores radiactivos fuentes radiactivas emisoras de radiación gamma de alta energía, principalmente cobalto-60 ( $E: 1,17$  MeV y  $1,33$  MeV) y cesio-137 ( $E: 0,66$  MeV) o aceleradores de electrones de alta energía.

El orden de actividad de una fuente radiactiva de cobalto-60 empleada en un irradiador industrial es del orden de  $1,85 \times 10^{17}$  Bq (5 millones de Ci).

Las ventajas e inconvenientes de ambas técnicas son:

—Las fuentes radiactivas emiten radiación gamma de forma continua en un arco de  $360^\circ$ , mientras que los aceleradores producen un haz unidireccional de electrones de alta energía.

—La radiación gamma tiene mayor poder de penetración que el haz de electrones, por lo que los aceleradores son más útiles sobre productos delgados o poco densos.

Las fuentes radiactivas presentan mayores problemas de protección radiológica, la necesidad de recambio de la fuente por decaimiento y su gestión como residuo.

Ambas tecnologías las tenemos implantadas en España como se describe en este artículo.

### Tipos de irradiadores

Para evaluar el diseño de este tipo de instalaciones se toma como referencia la guía SSG-8 del OIEA, titulada *Radiation Safety of Gamma, Electron and X-Ray Irradiation Facilities*, que establece una clasificación por categorías de los distintos tipos de irradiadores de alta energía: cuatro categorías para los irradiadores con fuentes y dos para los aceleradores. Vamos a describir a continuación aquellas categorías que están representadas en España.

#### Categoría I con fuentes radiactivas

Son irradiadores en los que la fuente radiactiva se encuentra completamente confinada, en un contenedor seco, que al mismo tiempo actúa como blindaje.

Existe en España una instalación radiactiva de irradiación industrial, de interés para la industria agroalimentaria, cuya finalidad es la esterilización de insectos para su utilización en la lucha contra plagas en áreas extensas, mediante la "Técnica del insecto estéril". Esta técnica consiste en usar la radiación para esterilizar insectos machos de especies consideradas como plagas. De este modo, el insecto esterilizado se aparea con la hembra pero sin llegar a fecundarla, lo que impide el crecimiento de la colonia y, por lo tanto, evita el uso de insecticidas de origen químico.

El equipo utilizado en esta instalación está cargado con una fuente radiactiva de cobalto-60 en forma de anillo, doblemente encapsulada en acero inoxidable

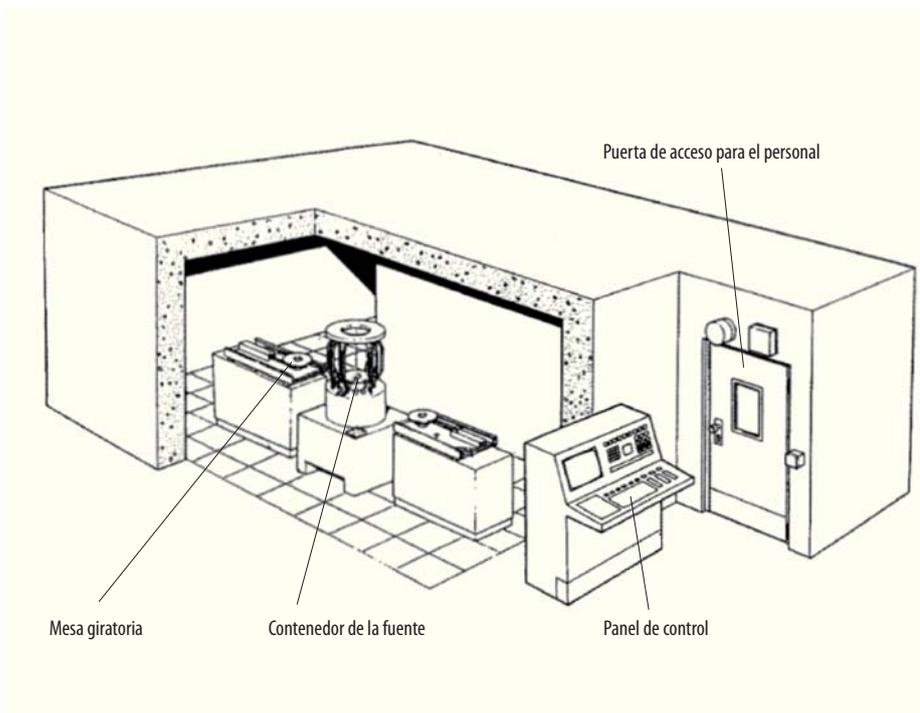


Figura 7. Instalación de irradiación industrial de categoría II.

con encapsulamiento en forma especial y con una actividad máxima de 444 TBq (12.000 Ci). Se trata de una fuente de alta actividad y de categoría 1 según clasificación del OIEA.

El acceso del usuario a la fuente es físicamente imposible debido al diseño del equipo.

### Categoría II con fuentes radiactivas

Son irradiadores en los que la fuente radiactiva se encuentra dentro de un recinto seco y sólido, que dispone de un control de acceso para el personal.

Cuando la fuente no está en uso se encuentra totalmente blindada, pero cuando la fuente está en posición de trabajo, el recinto se hace inaccesible para el personal mediante un sistema de control de accesos. En caso de intrusión inadvertida, los enclavamientos de seguridad interrumpirían la exposición de la fuente radiactiva.

En España hay una instalación de este tipo con fines de esterilización, que alberga una fuente radiactiva con doble encapsulamiento, de cobalto-60 de

12,21 PBq (330 KCi), formada por unas 20 fuentes compuestas en forma de barra, alojadas en un marco portafuentes. Cada barra tiene a su vez unas 20 fuentes simples. El marco portafuentes se desplaza desde el lugar de almacenamiento (pozo seco) a la celda de irradiación mediante un cable de elevación. Se trata de una fuente de alta actividad de categoría 1 y por consiguiente extremadamente peligrosa.

De acuerdo al Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas, esta instalación es de primera categoría.

No se dispone en España de irradiadores con fuentes de otras categorías

### Irradiadores con acelerador de electrones. Categoría II

Están constituidos por un acelerador de electrones dentro de un habitáculo blindado y disponen de un sistema de control de accesos que les hace inaccesibles durante la operación de irradiación.

Industrialmente se utilizan con energías de  $\leq 10$  MeV, con el fin de evitar la activación de los materiales que se van a

irradiar y la activación de los materiales de la propia máquina.

En España tenemos dos instalaciones de este tipo, que de acuerdo al Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas están clasificadas como instalaciones de segunda categoría.

### Otros

En la industria española existen también otras instalaciones de irradiación con baja energía, para el tratamiento de plásticos o resinas sintéticas mediante un proceso de polimerización o curación. Se utilizan para ello aceleradores de energías en el rango de los KeV.

### Consideraciones en el diseño y utilización de las instalaciones de irradiación

Esencialmente las instalaciones de irradiación industrial con altas energías están constituidas por una cámara de irradiación de productos, blindajes biológicos contra la radiación, sistemas de movimiento de productos, sistemas de control de acceso a la zona de irradiación y panel de control.

Las instalaciones de irradiación industrial, como el resto de instalaciones radiactivas, deben construirse de forma que, durante su uso normal, las dosis de radiación que reciban los trabajadores sean tan bajas como razonablemente sea posible (principio ALARA), y el público en general reciba dosis insignificantes.

En estas instalaciones las dosis producidas en el recinto de irradiación son muy elevadas, tanto que si una persona se encontrara accidentalmente en su interior durante la irradiación podría recibir, en un periodo de tiempo muy corto, una dosis letal.

Para evitar el riesgo de exposiciones accidentales se adoptan unos estrictos requisitos en el diseño y la construcción de la fuente radiactiva y de su soporte, los blindajes biológicos, los enclavamientos y

los sistemas de seguridad, que impidan el acceso al recinto de irradiación cuando la fuente está en uso, además de señalizaciones y alarmas. Todo esto se complementa con procedimientos específicos de trabajo y se extrema la formación y el entrenamiento del personal.

En el diseño de estas instalaciones se adoptan los principios de diseño seguro, que implican la defensa en profundidad, la redundancia y la diversidad.

En cuanto al diseño de las fuentes radiactivas, de acuerdo con la norma ISO 2919, deberán cumplir al menos la clasificación 43323 para irradiadores gamma de categoría I y la clasificación 53424 para las categorías II, III y IV.

Debido a la singularidad de estas instalaciones el personal debe disponer de las correspondientes licencias de supervisor u operador, y deberán portar dosímetros TLD.

El detector de radiación se convierte en estas instalaciones en una herramienta fundamental a la hora de entrar en la cámara de irradiación, cuando los sistemas de seguridad permiten el acceso tras una operación.

## Otros campos de aplicación

### Trazadores

El trazador es una sustancia que se añade a un sistema para estudiar su comportamiento dinámico. Los radiotrazadores son fáciles de detectar y medir, y permiten observar las reacciones químicas y los procesos físicos, incluso en sistemas cerrados, a temperaturas elevadas y altas presiones, y en tiempo real.

Entre sus aplicaciones se encuentran: la medida de caudales, la detección

de fugas, la localización de obstrucciones y la optimización de los parámetros de procesos, entre otros.

Se ha autorizado el uso de los siguientes isótopos: yodo-131, para el estudio de flujos subterráneos; mercurio-203, para la determinación en peso de mercurio en células electrolíticas; y kriptón-79, lantano-140 y sodio-24, para detectar fugas y retenciones en distintos procesos.

### Detectores de humo (DIH)

El principio de funcionamiento de los DIH se basa en la ionización de las moléculas de aire por partículas alfa procedente de una fuente de americio-241.

Los DIH son “productos de consumo” y, por consiguiente, la estrategia reguladora existente en España establece la necesidad de que todos los DIH que se comercialicen en España incorporen una fuente radiactiva exenta, o dispongan de aprobación de tipo —que es una exención que se da a algunos equipos radiactivos en base al poco riesgo que tienen—.

En la actualidad, más por cuestiones de obsolescencia tecnológica que por cuestiones radiológicas, hay una tendencia marcada a sustituirlos por detectores fotoeléctricos, también conocidos como detectores ópticos.

### Lámparas HID

Las lámparas HID (*High Intensity Discharge*) generalmente consisten en un tubo de arco que contiene material radiactivo (kriptón-85 o torio-232) y una cubierta exterior de cuarzo. El propósito de las fuentes radiactivas es reducir el nivel de descarga de electrones en el

cátodo, ayudar al encendido, prolongar la vida útil, mejorar la calidad metalúrgica y mejorar las propiedades de color de la luz.

La actividad del radionucleido presente en cada lámpara está por debajo de los límites de exención establecidos en el anexo I del RINR y por consiguiente su uso no requiere autorización.

## Aplicaciones singulares

### Sincrotrón

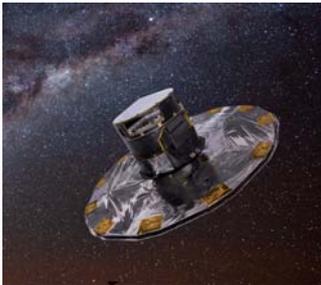
En España, tenemos un sincrotrón autorizado como instalación radiactiva de primera categoría. Está constituida por una serie de aceleradores de electrones que alcanzan una velocidad próxima a la de la luz. La aceleración de los electrones en el seno de campos magnéticos da lugar a la emisión de radiación sincrotrón, una radiación electromagnética con longitudes de onda situadas en el espectro entre el infrarrojo y los rayos X. Sus características permiten su utilización para el estudio de la estructura de la materia y otras aplicaciones.

### Láser

Está prevista la autorización de una instalación radiactiva que contará con un láser de muy alta energía. El láser se focaliza sobre un blanco con el fin de acelerar partículas. El objetivo científico de la instalación será el estudio de plasmas en condiciones extremas. Se producirán partículas aceleradas, esencialmente electrones, que a su vez acelerarán protones y otros iones, y también generarán fotones de *bremsstrahlung*. Evidentemente, también pueden inducirse reacciones nucleares. ©

# Reacción en cadena

## La sonda espacial Gaia se prepara para cartografiar la Vía Láctea



El telescopio espacial Gaia, que la Agencia Espacial Europea (ESA) quiere lanzar al espacio con el objetivo de desvelar los orígenes y evolución del universo, ya ha abandonado las salas blancas de la empresa fabricante, Astrium, y se encuentra en las instalaciones del puerto espacial europeo de la Guayana Francesa, preparándose para su lanzamiento, previsto para finales de 2013.

El objetivo de la misión espacial Gaia consiste en la creación de un detallado mapa tridimensional de nuestra galaxia, la Vía Láctea y de zonas todavía desconocidas de ella. Para conseguirlo, cuenta con los instrumentos astronómicos más modernos, no utilizados hasta ahora en un telescopio espacial. Además de la elaboración de un catálogo de aproximadamente mil millones de estrellas, Gaia hará un mapa de sus movimientos para determinar las posiciones, distancias y el propio

## Una bacteria roja que reduce el colesterol

Pueden parecer muy poco apetitosas, pero las bacterias son ingredientes idóneos para la comida espacial, ya que además de proporcionar numerosos nutrientes esenciales en la dieta de los astronautas, permiten aligerar el peso de la nave, debido a se reproducen con enorme rapidez y basta una pequeña masa original para obtener en poco tiempo suficientes cantidades. Algunas de ellas podrían, incluso, tener beneficios hasta ahora desconocidos. Una investigación llevada a cabo por la Agencia Espacial Europea (ESA) ha descubierto que una bacteria utilizada como alimento de los astronautas puede disminuir los niveles de colesterol en sangre a la mitad.



movimiento anual de las constelaciones. La sonda también dispondrá de un sensor fotográfico de tal precisión que si se encontrase en la Tierra sería capaz de medir la uña del pulgar de una persona. Las medidas fotométricas

aportarán relevantes datos sobre las propiedades físicas detalladas de cada estrella observada, caracterizando su luminosidad, temperatura, gravitación, y la composición en elementos químicos. Esta misión no solo servirá para

Para sorpresa de los investigadores, la bacteria, denominada Red, no solo ha demostrado ser segura y nutritiva, sino capaz de reducir los niveles del colesterol tipo LDL (el conocido como colesterol *malo*). "Nuestras pruebas demostraron una reducción en los niveles de colesterol LDL de hasta el 50 %", dice el director Rob Suters de EzCOL, la compañía que junto a la ESA está investigando esta bacteria. Y añade que "dentro de 18 a 24 meses vamos a completar nuestra investigación y estaremos listos para comercializar la tecnología".

El descubrimiento tiene su origen en investigaciones dirigidas al reciclaje de sistemas autónomos de los residuos de oxígeno, agua y alimentos originados en las misiones, y forma parte del proyecto de la ESA *Micro-Ecological Life Support System Alternative* (Melissa), cuyo objetivo consiste en el desarrollo de sistemas de reciclaje de agua y en la búsqueda de alternativas para cocinar comidas nutritivas con ingredientes poco comunes.

En un futuro no muy lejano, la bacteria podría ser comercializada como un medicamento o como un complemento alimenticio. Además de colonizar el espacio, Red pronto podría conquistar los supermercados en la lucha contra el colesterol. ▀

descubrir nuevos planetas solares, miles de asteroides y numerosos elementos celestes desconocidos, sino que los expertos esperan que pueda arrojar incluso nuevas evidencias sobre la teoría de la relatividad general de Albert Einstein. ▀

## EN RED

### Tras los pasos de las aves

Miles de aves protagonizan con su vuelo un espectáculo en nuestros cielos durante sus viajes estacionales a lo largo del



año. Mientras que la cigüeña cruza el estrecho de Gibraltar cada verano para alcanzar la costa africana, en otoño da comienzo la partida del papamoscas cerrojillo, una pequeña ave forestal cuyo vuelo cautiva la mirada por el mo-

vimiento de sus alas. Los desplazamientos migratorios pueden durar días o incluso semanas, por lo que las aves deben parar y descansar en áreas de reposo para que su viaje llegue a buen término. En la nueva página de la Socie-

dad Española de Ornitología (Seobirdlife), es posible seleccionar las rutas de emigración de cada una de las especies de aves españolas y seguir las en su recorrido por todo el mundo. [http://www.migraciondeaves.org/#selector\\_especies.php](http://www.migraciondeaves.org/#selector_especies.php)



### Una biblioteca de piedras

Una litoteca es una colección de minerales, rocas y fósiles. La que tiene el Instituto Geológico y Minero de España en Peñarroya (Córdoba) contiene la más completa y representativa de nuestro país, y está formada por miles de ejemplares procedentes de todas las regiones españolas y de antiguos territorios coloniales, así como de yacimientos significados del registro

mundial. Una muestra significativa de la colección se puede contemplar en el Museo Geominero (C/Ríos Rosas, 23 de Madrid). A través de sus webs se puede acceder directamente a los tesoros que guardan estas colecciones, que a su importancia científica suman su valor histórico, ya que su origen se remonta a la mitad del siglo XX.

<http://www.igme.es/internet/Dic2011/Unidades/litoteca.htm>  
<http://www.igme.es/museo/>

## LIBROS

### *Siglo XX Cachivaches*

Coordinado por Ramón Núñez

Museo Nacional de Ciencia y Tecnología

Ed. MIC. Madrid, 2013

Los inventos que representan el devenir del siglo XX y que una vez fueron la novedad de su tiempo, forman parte de la exposición que presentó a principios del mes de julio el Museo Nacional de Ciencia y Tecnología (MUNCYT) en La Coruña y que se recoge en este libro-catálogo. Un peculiar violín para realizar grabaciones fonográficas, un sacapuntas que atrás dejaba las cuchillas, transistores que actuaban como amplificadores y rectificadores de la corriente, la guitarra eléctrica que impulsó el rock and roll y que conquistó a la sociedad de los años 50, el primer marcapasos o la calculadora científica electrónica, son algunos de los mu-

chos inventos que forman parte de la colección.

El libro hace del siglo XX testigo de la aparición de los electrodomésticos y la luz

eléctrica, los rascacielos, los plásticos, los aviones y los automóviles, la televisión y la radio, y ofrece un análisis sobre la penetración que tuvieron aquellas innovaciones en la sociedad, haciéndose familiares y necesarias en la vida cotidiana.

Haciendo homenaje a aquella letra del tanto de Santos Discepólo que cantaba "siglo veinte, cambalache, problemático y febril", el libro toma su título en un juego de palabras para referirse a un tiempo que, como nunca en la historia de la humanidad, produjo tantos cachivaches.



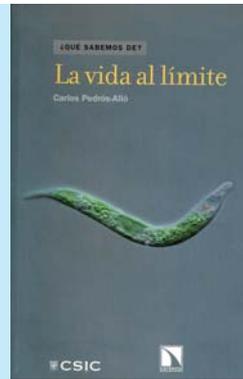
## LIBROS

**La vida al límite**  
**Carlos Pedrós-Alió**  
**Colección CSIC**

**Editorial Catarata. Madrid, 2013**

Sabemos que existen ciertas bacterias y algunos otros organismos que son capaces de sobrevivir a las condiciones más extremas de la Tierra. Incluso aquellos ambientes considerados "inhabitables" por el ser humano son colonizados por determinados organismos que se adaptan perfectamente a esos nichos ecológicos. Los organismos extremófilos sobreviven en condiciones que serían letales para cualquier otra forma de vida. Resisten temperaturas por encima del grado de ebullición del agua y por debajo del de congelación, condiciones de

acidez extrema, de falta de luz solar, de oxígeno, de presión y de salinidad. Sin embargo, aunque la vida al límite pueda parecer cosa de lugares remotos y lejanos a nuestros hogares, la realidad es bien distinta pues, como nos explica Carlos Pedrós-Alió en este libro, algunos de los ecosistemas más extremófilos se hallan en nuestros hogares. Si analizamos la nevera, el microondas o el especiero, aprenderemos muchas cosas sobre cómo se abre camino la vida y por qué resulta tan difícil encontrar el desierto perfecto.



**España ya tiene su primer gigante eólico marino**

El primer generador eólico marino instalado en España ya se encuentra en funcionamiento. Gamesa, uno de los principales fabricantes de aerogeneradores del mundo, ha puesto en marcha el primer aparato *offshore* de nuestro país, instalado en el muelle de Arinaga (Gran Canarias). En medio del

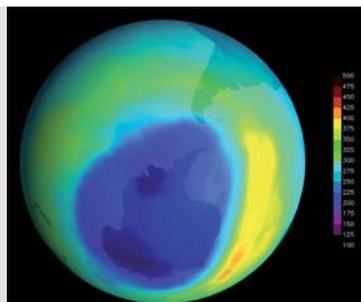
mar, el viento sopla más fuerte que en tierra y de forma mucho más regular, de manera que se puede generar más energía y durante más tiempo. Este aerogenerador producirá la energía necesaria para abastecer a 7.500 hogares. El molino está formado por un turbina con un rotor de 128 metros de diámetro y una altura total de 154 metros y cuenta con unas gigantes aspas que supe-

ran, cada una, la anchura de un campo de fútbol y que pesan más de 15 toneladas. La iniciativa de esta empresa puede ser el inicio de la implantación en España de parques eólicos marinos, una tecnología muy extendida en el Mar del Norte, y que en nuestro país plantea el problema del amarraje de los molinos, por la abrupta inclinación de la plataforma continental.

## EFEMÉRIDES ► HACE 100 AÑOS...

**Se descubre la capa de ozono**

Aunque algunos científicos ya sospechaban de la existencia de una capa protectora de la atmósfera, hubo que esperar a 1913 para que los físicos franceses, Charles Fabry y Henri Buisson descubrieran la capa de ozono: el manto que permite preservar la vida sobre la Tierra al protegernos de la radiación ultravioleta proveniente del Sol. Más tarde, G.M.B Dobson, el meteorólogo cuyo apellido dio nombre a la unidad de medición del ozono, desarrolló un sencillo espectrofotómetro para medir la cantidad de este gas estratosférico desde la superficie terrestre.



## REDES



**Nautilus**

Ciencia, cultura y filosofía unidas en una única historia contada por pensadores y escritores de todo el mundo. Una conexión directa con la vida a través de sus ensayos, artículos y blogs de cada mes.

**NASA's Earth Observatory**

El Earth Observatory de la NASA muestra las imágenes, historias y descubrimientos más apasionantes sobre el clima y su fenómenos, realizadas a través de sus misiones.

**@porquesnatura**

Los fenómenos de la naturaleza, su historia y su futuro incierto, suscitan muchas preguntas a las que esta web da respuestas.

**@FATAPUERCA**

De la Prehistoria al presente en un click. Las noticias, investigaciones y descubrimientos más actuales de Atapuerca que arrojan luz sobre nuestro presente y la evolución de las especies.

# Panorama

## El Consejo de Seguridad Nuclear participa en el ejercicio internacional Curiex 2013

El Consejo de Seguridad Nuclear participó los días 5 y 6 de noviembre en el ejercicio internacional Curiex 2013 (*Cáceres Urgent Response International Exercise*), que se desarrolló

en los municipios del entorno de la central nuclear de Almaraz. El presidente del CSN, Fernando Marti, encabezó sobre el terreno una delegación del Consejo durante el ejercicio.



De izquierda a derecha, la directora de Protección Radiológica, María Fernanda Sánchez, el consejero Fernando Castelló y el presidente Fernando Marti, con las responsables de la estación de clasificación y descontaminación.



Especialistas del CSN trabajando *in situ* durante el ejercicio.

El supuesto accidente simuló en la pérdida de refrigerante del reactor, lo que llegó a producir la fusión parcial del núcleo. En consonancia con este hecho, durante el ejercicio el titular de la central realizó las sucesivas declaraciones de *alerta de emergencia y prealerta*, con la que se activó la organización de emergencia interna en la central, y posteriormente las categorías asociadas a un posible impacto radiológico para la población, *emergencia en el emplazamiento y emergencia general*. La central alivió de forma controlada la presión dentro de la contención para preservar su integridad, y realizó un venteo controlado (emisión de gases radiactivos al exterior).

El Consejo de Seguridad Nuclear, de acuerdo con su Plan de Actuación ante Emergencias Nucleares y Radiológicas, declaró de forma escalonada sus diversos modos de respuesta, y llegó a alcanzarse el modo 3, que involucra a todo el personal necesario. Para ello, se contó con la participación de 52 técnicos del Consejo de Seguridad Nuclear, repartidos entre en el escenario y la Sala de Emergencias (Salem), desde donde se siguió la evolución del accidente y se asesoró en materia de protección radiológica.

En la zona de Almaraz, los especialistas del CSN participaron en la intervención radiológica en la zona afectada,

los puntos de control de acceso al lugar de la emergencia simulada y las estaciones de clasificación y descontaminación. Mientras, desde la Salem se analizaba la información sobre el estado de la central y la situación radiológica del entorno para recomendar a la Subdelegación de Gobierno de Cáceres las medidas necesarias para cada una de las situaciones de la emergencia: el control de accesos a la zona, la evacuación de la población en un radio de diez kilómetros en torno a la central (la denominada Zona I), antes del supuesto paso de la nube radiactiva, y su traslado a las estaciones de clasificación y descontaminación de Trujillo y Plasencia, así como la profilaxis radiológica, es decir, la administración de pastillas de yoduro potásico para prevenir la fijación de yodo radiactivo en la glándula tiroides.

También se recomendó evitar el consumo de alimentos frescos y agua no envasada, y otras medidas de protección de larga duración, en un área de 30 kilómetros alrededor de la instalación (la denominada Zona II), donde las vías de exposición a la radiación están asociadas, fundamentalmente, al material radiactivo depositado en el suelo tras el accidente.

Un suceso de estas características habría alcanzado un nivel 6 en la Escala Internacional de Sucesos Nucleares y Radiológicos (INES). ▸

## Sexta reunión del Comité Asesor para la Información y Participación Pública

La sexta reunión del Comité Asesor para la Información y Participación Pública del Consejo de Seguridad Nuclear se celebró el pasado 24 de octubre en la sede del organismo regulador. Durante la misma, los miembros del comité fueron informados sobre las actividades más relevantes desarrolladas recientemente por el CSN, como el proceso administrativo de cese de explotación de la central nuclear de Santa María de Garoña, el impacto de los movimientos sísmicos registrados en el Golfo de Valen-

cia en las centrales nucleares españolas de la zona y la protección radiológica en el ámbito internacional, con especial atención a la nueva directiva europea sobre protección radiológica.

El CSN informó sobre el avance de las actuaciones llevadas a cabo en respuesta a las recomendaciones realizadas en estos tres años de funcionamiento del comité, además de rendir cuentas sobre su actividad en el ámbito de la información y la comunicación durante al año 2013.

El Comité Asesor está integrado por representantes de la sociedad civil, del mundo empresarial, de los sindicatos y de las administraciones públicas de carácter estatal, autonómico y local. ▸



## Colaboración entre el CSN y la NRA de Japón



Shunichi Tanaka, presidente de la Nuclear Regulatory Authority.

El presidente del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), Fernando Marti, firmó a principios de octubre en Tokio con su homólogo Shunichi Tanaka, presidente de la Nuclear Regulatory Authority (NRA), un memorando de entendimiento entre ambos organismos reguladores. El ámbito de aplicación de la cooperación contemplado en este acuerdo incluye el intercambio de información en los campos de la seguridad nuclear y la protección radiológica, en la experiencia operacional

y en las lecciones aprendidas de los accidentes nucleares; la mejora de la seguridad y la comunicación en situaciones de crisis, la respuesta ante emergencias o la gestión de los residuos radiactivos.

La firma del protocolo entre ambos organismos reguladores formó parte junto del conjunto de acuerdos económicos y comerciales intercambiados entre el primer ministro de Japón y el presidente del Gobierno español durante su visita oficial a Tokio. ▸

## Informe del CSN sobre los terremotos del golfo de Valencia

El Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) aprobó el pasado 8 de octubre un informe en el que se analizaron los terremotos registrados en los últimos meses en las provincias de Castellón y Tarragona, que no tuvieron ninguna repercusión en la seguridad de las centrales nucleares cercanas, las de Ascó y Vandellós, ni afectaron a su funcionamiento.

El nivel de aceleración horizontal que se detectó fue inferior al que habría activado las medidas de verificación y protección establecidas en estas plantas. Ambas instalaciones disponen de los sistemas de vigilancia sísmica necesarios para registrar y analizar terremotos de fuerte intensidad y disponen de protocolos de actuación, recogidos en las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento que, en su caso, obligarían a parar de forma ordenada y segura el funcionamiento de las cen-

trales en caso de que se superara el nivel establecido en las mencionadas especificaciones, lo que se conoce con el nombre de “terremoto de parada segura”.

Por otro lado, la refrigeración esencial de Vandellós II está asegurada por un sistema situado a 23 metros por encima del nivel del mar (sistema EJ) por lo que en el caso de que un terremoto de alta intensidad generase un *tsunami*, la seguridad nuclear de la planta no se vería afectada por ese suceso. ▸

## 57ª Conferencia General del Organismo Internacional de Energía Atómica

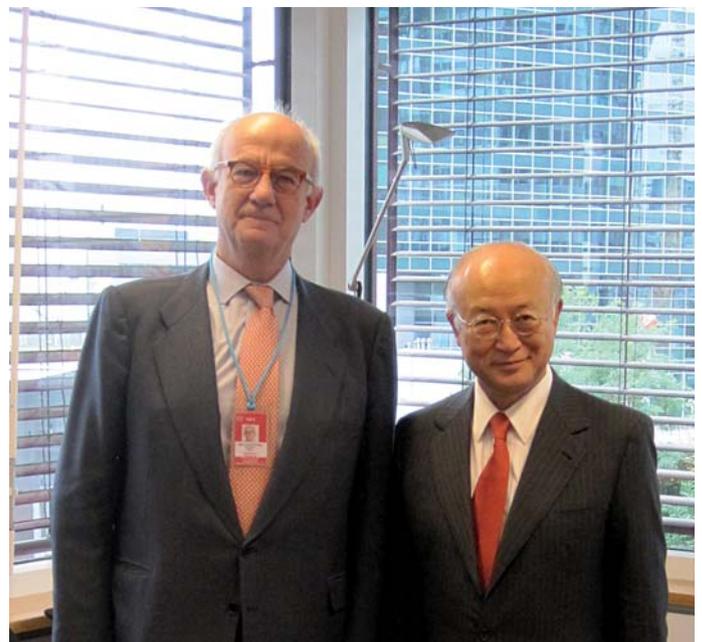
Entre el 16 y el 20 de septiembre se celebró en Viena la 57ª Conferencia General del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), a la que asistieron más de 3.000 representantes de los 159 Estados miembros, así como de diversas organizaciones y medios de comunicación. Formaban parte de la delegación española, entre otros, el presidente del Consejo de Seguridad Nuclear, Fernando Marti Scharfhausen; la vicepresidenta, Rosario Velasco, que intervino en la sesión sobre control de fuentes radiactivas en el Mediterráneo; y la consejera Cristina Narbona. La delegación del CSN mantuvo una reunión con Yukiya Amano, director general del OIEA, para intercambiar impresiones sobre la mejora de la seguridad nuclear en el mundo durante el último año.

La embajadora representante permanente de España ante la Oficina de la Organi-

zación de las Naciones Unidas y los Organismos Internacionales, Carmen Baján, presentó la declaración de España que se centró en el esfuerzo y en la mejora de la seguridad nuclear mediante la cooperación entre diferentes organizaciones, así como el intercambio de lecciones aprendidas. Dicha declaración había sido redactada conjuntamente por el Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación, el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, el Consejo de Seguridad Nuclear y el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas. En esta declaración se destacaba la participación de expertos españoles, del Consejo de Seguridad Nuclear, en la elaboración del informe detallado sobre el accidente de la central nuclear de Fukushima Dai-ichi, que expone todos los aspectos técnicos relevantes y las lecciones aprendidas del mismo. ▶



Vista general de la 57ª Conferencia anual del OIEA.



Fernando Marti Scharfhausen (izquierda) y Yukiya Amano.

### Reconocimiento a la revista *Alfa*

El artículo "Cirujanos del arte", escrito por Eugenia Angulo Alonso y publicado en el número 17 de *Alfa*, fue premiado con una mención honorífica en los premios Prismas Casa de las Ciencias de A Coruña, modalidad de artículos periodísticos, "por la originalidad y calidad del texto, en el que se relaciona arte y ciencia", según el recoge el acta del jurado. Con más de un cuarto de siglo de tradición, los Prismas son los premios de mayor reconocimiento y veteranía en el ámbito de la divulgación científica en España. ▶



# Acuerdos del Pleno

## Requisitos de utilización de fuentes radiactivas en las instalaciones nucleares

El Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear aprobó por unanimidad, el pasado 24 de julio de 2013, emitir Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC) relativas a la utilización de fuentes radiactivas en la explotación de las instalaciones nucleares (centrales nucleares en operación, central nuclear de Garoña y fábrica de Juzbado), en las que se detallan diversos aspectos relacionados con su posesión, utilización o almacenamiento.

## Informe del CSN sobre la concesión de explotación minera en Retortillo y Santidad

El 30 de julio de 2013, el Pleno Consejo de Seguridad Nuclear aprobó por unanimidad la emisión del informe solicitado por el Servicio Territorial de Industria, Comercio y Turismo de la Delegación Territorial de Salamanca de la Junta de Castilla y León, sobre la petición de la empresa Berkeley Minera de España S. A. (BME) para obtener una concesión de explotación de los recursos de uranio en la zona de investigación denominada Pedreras, donde se ubican los yacimientos de Retortillo y Santidad.

## Instrucción Técnica Complementaria a la central de Cofrentes sobre venteo filtrado de la contención

El Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear, en su reunión del 24 de septiembre de 2013 aprobó por unanimidad la emisión de una Instrucción Técnica Complementaria a la central nuclear de

Cofrentes, tras la evaluación de la respuesta del titular a las Instrucciones Técnicas Complementarias relativas a la autorización de explotación y a las pruebas de resistencia en lo relativo al venteo filtrado de la contención de la instalación, de acuerdo con el informe realizado por la Dirección de Seguridad Nuclear. En él se establece que la central deberá instalar un sistema de venteo filtrado de la contención capaz de limitar el vertido al exterior y las dosis en otros edificios de la central en caso de accidente severo. A tal fin, el titular deberá presentar al CSN, antes del 31 de diciembre de 2014, un análisis de las alternativas tecnológicas existentes para dicho sistema y la solución finalmente adoptada. Así mismo, deberá implantar el sistema de venteo filtrado de la contención en la central antes del arranque de la primera recarga que se realice después del 31 de diciembre de 2016.

## Propuesta de apertura de expediente sancionador a la central de Almaraz

En su reunión del 24 de septiembre de 2013, el Pleno Consejo de Seguridad Nuclear aprobó por unanimidad la apertura de un expediente sancionador por infracción leve a la central nuclear de Almaraz, por incumplimiento del Manual de Garantía de Calidad y la Instrucción del CSN *IS-19 sobre requisitos del sistema de gestión de las instalaciones nucleares*.

La Dirección Técnica de Seguridad Nuclear remitió a la central una Instrucción Técnica sobre acciones relativas a la cualificación de componentes y repuestos de clase nuclear. Para verificar la in-

formación aportada por el titular, el CSN realizó una inspección durante los días 15 a 18 de octubre de 2012 y constató que la central tenía instalados componentes de diversos tipos en posiciones relacionadas con la seguridad, sin haberlos sometido a un proceso de dedicación que garantizara que se cumplen los requisitos de seguridad aplicables.

Este incumplimiento del Manual de Garantía de Calidad y de la Instrucción IS-19 podrían constituir una infracción que, de acuerdo con el artículo 86 de la Ley 25/1964 sobre Energía Nuclear, sería de carácter leve, ya que no ha supuesto peligro para la seguridad o la salud de las personas o daño a las cosas o al medio ambiente.

## Proyecto de Real Decreto sobre gestión del combustible y los residuos radiactivos

El Consejo de Seguridad Nuclear, en su reunión del día 30 de julio de 2013, aprobó por mayoría el texto del informe, y su correspondiente tabla explicativa sobre el proyecto de real decreto para la gestión responsable y segura del combustible nuclear gastado y los residuos radiactivos, con destino al Ministerio de Industria, Energía y Turismo, en cumplimiento del apartado m) del artículo 2 de la Ley 15/1980.

En su reunión del 24 de abril de 2013, el Pleno ya había aprobado la emisión de un primer informe. Posteriormente, el 11 de julio, la Secretaría General Técnica de dicho Ministerio remitió un nuevo texto del proyecto de real decreto, para recabar un nuevo informe del CSN, a los efectos previstos en el artículo 24.l.b) de la Ley 50/1997, de 27 de noviembre.

En la votación del nuevo informe, el texto fue aprobado por cuatro de los cinco miembros del Pleno. La consejera Cristina Narbona votó en contra y emitió un voto particular. ©

# El CSN informa

Información relativa al segundo trimestre de 2013

## Centrales nucleares

Almaraz I y II

Nº de sucesos (nivel INES)	3 (INES 0)
Paradas no programadas	1
Nº inspecciones del CSN	9
Actividades	

Durante este trimestre la central operó a plena potencia, con excepción de la parada producida en la unidad II el 23 de mayo por actuación de las protecciones eléctricas del generador eléctrico principal, que se prolongó durante 11 días para actividades de mantenimiento.

Ascó I y II

Nº de sucesos (nivel INES)	2 en Ascó I (INES 0), 4 en Ascó II (INES 0)
Paradas no programadas	2 en Ascó II
Nº inspecciones del CSN	13
Actividades	

Al comenzar el periodo, la unidad I operaba al 95% de potencia nuclear a petición del despacho delegado, recuperó el 100% el día 2 de abril y se mantuvo así todo el trimestre excepto el 10 de abril fecha en la que se bajó al 95% por parada automática. Recuperó la potencia plena el mismo día.

La unidad II inició el trimestre al 100% de potencia nuclear, hasta el 5 de abril fecha en la que se inició la bajada de carga para efectuar la vigesimoprimer recarga de combustible. El 23 de mayo se acopló el turbogenerador a la red de nuevo. El 27 de mayo se produjo una parada automática no programada hasta el 31 de mayo; y el 6 de junio otra durante unas pruebas de mantenimiento. La unidad II se conectó al día siguiente de nuevo a la red y mantuvo plena potencia hasta el final del periodo.

Cofrentes

Nº de sucesos (nivel INES)	0
Paradas no programadas	0
Nº inspecciones del CSN	14
Actividades	

Durante el trimestre la central se mantuvo funcionando de manera estable, con bajadas parciales de potencia superiores a un 10% los días 20 de abril, 1 de mayo, 12 de mayo, 9 de junio y 30 de junio.

El Pleno del CSN informó favorablemente la revisión 28 de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento mejoradas.

Santa María de Garoña

Nº de sucesos (nivel INES)	0
Paradas no programadas	0
Nº inspecciones del CSN	4
Actividades	

La central inició, el 16 de diciembre de 2012, una parada programada para descargar todo el combustible desde el núcleo hasta la piscina de combustible gastado y así permaneció durante todo el trimestre.

Trillo

Nº de sucesos (nivel INES)	1 (INES 0)
Paradas no programadas	0
Nº inspecciones del CSN	12
Actividades	

Durante el trimestre la central ha operado con normalidad, excepto entre los días 16 de mayo y 23 de junio, en que se produjo la vigesimoquinta recarga de combustible, que transcurrió con normalidad. Durante la parada se realizaron diversas actividades de revisión y comprobación, así como algunas modificaciones de diseño relacionadas con mejoras post-Fukushima.

Vandellós II

Nº de sucesos (nivel INES)	2 (INES 0)
Paradas no programadas	0
Nº inspecciones del CSN	10
Actividades	

El trimestre se inició con la central al 82% de potencia debido a la bajada de potencia realizada en marzo por demanda de reducción del sistema eléctrico a petición del despacho de cargas. El día 2 de abril se recuperó el 100% de potencia, y así se mantuvo, sin incidencias, hasta el final del trimestre.

## Instalaciones del ciclo y en desmantelamiento

Ciemat

### PIMIC-Rehabilitación

Durante este periodo se ha finalizado el plan de control de materiales para su desclasificación.

**PIMIC-Desmantelamiento**

Durante este trimestre no se han realizado actividades de desmantelamiento. Se han realizado únicamente tareas de vigilancia y control de la zona vallada del PIMIC-Desmantelamiento.

**Nº inspecciones del CSN** 3

**Centro de Saelices el Chico****Planta Quercus**

Enusa Industrias Avanzadas, S.A., titular de esta instalación, está elaborando el Plan de Desmantelamiento de la planta. Enusa deberá solicitar su desmantelamiento, antes del 30 de octubre, de acuerdo a la resolución ministerial que denegó la suspensión del proceso de desmantelamiento de la planta.

Continúan sin incidencias las actividades asociadas a los programas de vigilancia.

**Planta Elefante**

Continúan sin incidencias las actividades asociadas a los programas de vigilancia.

**Instalaciones mineras**

Durante el trimestre ha continuado la evaluación de la solicitud presentada por Berkeley Minera España, S.A. (BME) relativa a la autorización previa como instalación radiactiva de 1ª categoría del ciclo del combustible nuclear de la planta de beneficio de mineral de uranio de los yacimientos de Retortillo-Santidad en Salamanca.

Se ha estado evaluando la solicitud de BME de otorgamiento de la concesión de explotación de recursos de uranio de los yacimientos citados.

**Nº inspecciones del CSN** 0

**Fábrica de uranio de Andújar****Actividades**

La instalación sigue bajo control, en el denominado periodo de cumplimiento, posterior al desmantelamiento.

**Nº inspecciones del CSN** 4

**El Cabril****Actividades**

La instalación sigue operativa, sin que se hayan producido en este periodo incidencias significativas. Se han realizado las operaciones

habituales para la gestión definitiva de los residuos radiactivos de baja y media actividad, así como de muy baja actividad. Se ha aprobado la revisión 7 del Reglamento de Funcionamiento.

**Nº de sucesos (nivel INES)** 0

**Nº inspecciones del CSN** 3

**Vandellós I****Actividades**

La instalación sigue en situación de latencia y bajo control; no se han observado incidencias significativas.

**Nº de inspecciones del CSN** 2

**José Cabrera****Actividades**

En junio concluyó la segmentación de los elementos internos de la vasija del reactor.

En abril, el CSN apreció favorablemente los resultados de las pruebas del nuevo puesto de vigilancia y supervisión que sustituirá a la sala de control de la central. En este mismo mes, la Dirección General de Política Energética y Minas aprobó la modificación de diseño del ATI para su uso como almacén de residuos radiactivos, previo informe favorable del CSN.

**Nº de inspecciones del CSN** 4

**Juzbado**

**Nº sucesos** 0

**Actividades**

El 11 de abril se celebró la reunión de valoración del funcionamiento de la fábrica durante 2011-2012, en aplicación de su sistema de supervisión. Las conclusiones fueron remitidas al titular.

El 24 de abril, el CSN emitió el informe sobre el recurso de alzada contra la resolución dictada por la Dirección General de Política Energética y Minas de 3 de octubre de 2012, por la que se concedió la autorización de protección física de la instalación.

Con fecha 26 de junio de 2013, el CSN apreció favorablemente la revisión 18 del Manual de Protección Radiológica.

**Nº de inspecciones del CSN** 4

**Instalaciones radiactivas**

Resoluciones adoptadas sobre instalaciones radiactivas (científi-

cas, médicas, agrícolas, comerciales e industriales) del 1 de marzo al 31 de mayo de 2013:

<b>Informes para autorización de nuevas instalaciones</b>	<b>11</b>
<b>Informes para autorizaciones de modificación de instalaciones</b>	<b>65</b>
<b>Informes para declaración de clausura</b>	<b>23</b>
<b>Informes para autorización de servicios de protección radiológica</b>	<b>0</b>
<b>Informes para autorización de unidades técnicas de protección radiológica</b>	<b>2</b>
<b>Informes para autorización de servicios de dosimetría personal</b>	<b>0</b>
<b>Informes para autorización de retirada de material radiactivo no autorizado</b>	<b>4</b>
<b>Informes para autorizaciones de empresas de venta y asistencia técnica de equipos de rayos X para radiodiagnóstico médico</b>	<b>6</b>
<b>Informes para autorización de otras actividades reguladas</b>	<b>5</b>
<b>Informes relativos a la aprobación de tipo de aparatos radiactivos</b>	<b>6</b>
<b>Informes relativos a homologación de cursos para la obtención de licencias o acreditaciones</b>	<b>22</b>

Acciones coercitivas adoptadas sobre instalaciones radiactivas (científicas, médicas, agrícolas, comerciales e industriales) del 1 de marzo al 31 de mayo de 2013:

<b>Apercibimientos a instalaciones radiactivas industriales</b>	<b>5</b>
<b>Apercibimientos a instalaciones radiactivas de investigación o docencia</b>	<b>1</b>
<b>Apercibimientos a instalaciones radiactivas médicas</b>	<b>2</b>
<b>Apercibimientos a unidades técnicas de protección radiológica</b>	<b>0</b>
<b>Apercibimientos a servicios de protección radiológica</b>	<b>2</b>
<b>Apercibimientos a instalaciones de rayos x médicos</b>	<b>2</b>
<b>Apercibimientos a otras actividades reguladas</b>	<b>0</b>

## Seguridad física

### Actividades más relevantes

Se ha celebrado la reunión de la Comisión Técnica para el seguimiento del acuerdo específico de colaboración entre el Ministerio del Interior y el Consejo de Seguridad Nuclear en materia de seguridad física de las instalaciones nucleares y radiactivas.

Se ha realizado la evaluación de la propuesta de reglamento de funcionamiento de la central nuclear de Santa María de Garoña en parada y evaluación de su solicitud de renovación de la autorización de protección física de la central durante la fase de cese definitivo.

### Cursos

Se ha colaborado con la Agencia Tributaria en la instrucción de

los operadores de sistemas de vigilancia radiológica en los puertos del Estado de interés general, en el de Tenerife.

Se ha asistido a un curso internacional de capacitación sobre seguridad física del transporte de materiales nucleares en Karlsruhe (Alemania).

### Simulacros

Se ha participado en el Ejercicio Table – Top realizado en la central nuclear de Almaraz para validar las capacidades de adversario descritas en el borrador de la Amenaza Base de Diseño preparado por el Grupo de La Granja.

<b>Nº de Inspecciones (Vandellós II, Cofrentes, Santa María de Garoña y Juzbado)</b>	<b>4</b>
--	----------

### Actividades internacionales

Ha finalizado la estancia temporal de nueve meses de un técnico del Área de Seguridad Física en la NRC para el intercambio de información y prácticas de inspección.

Se ha celebrado la reunión bilateral entre la NRC y el CSN en materia de seguridad física de las instalaciones y materiales nucleares en Washington DC.

Se ha participado en la tercera reunión del Comité de Orientaciones de Seguridad Física del OIEA.

## Notificación de sucesos

<b>Nº incidentes en instalaciones nucleares notificables en 1 hora</b>	<b>8</b>
<b>Nº incidentes en instalaciones nucleares notificables en 24 horas</b>	<b>14</b>
<b>Nº incidentes radiológicos</b>	<b>6</b>
<b>Hechos relevantes</b>	<b>Ninguno reseñable</b>

## Emergencias

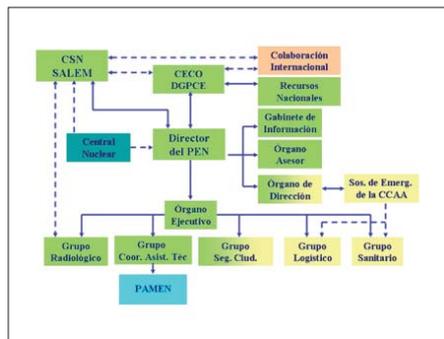
### Activación de la ORE

El CSN participó en el ejercicio hispano-marroquí REMEX 2013, en colaboración con el Ministerio del Interior, en el contexto de la Iniciativa Global contra el Terrorismo Nuclear, con un supuesto de detonación de una bomba sucia en el puerto de Algeciras.

También participó en el ejercicio NERIS-2013/Penta, en el contexto de la Plataforma Europea Preparedness for Nuclear and Radiological Emergency Response and Recovery. El ejercicio se centró en la fase de recuperación tras un supuesto accidente severo en la central de Ascó con descubrimiento del núcleo y emisión radiactiva al exterior.

Se continúa avanzando en los trabajos de preparación del simulacro general del Penca (CURIEX) y se ha preparado e impartido un curso específico para los actuantes del mismo, en colaboración con la central de Almaraz.

www.csn.es



## La organización de respuesta ante emergencias del CSN

La Organización de Respuesta ante Emergencias (ORE) es la estructura operativa establecida por el CSN para llevar a cabo las misiones que le corresponden en caso de emergencia nuclear o radiológica. Esta organización está dotada de recursos humanos, medios técnicos y procedimientos adecuados para llevar a cabo su objetivo. La sala de emergencias (Salem) proporciona la infraestructura material básica para la ejecución del Plan de Actuación ante Emergencias (PAE), y constituye el centro operativo de la ORE del CSN. Para conocer la estructura y funcionamiento de la Organización de Respuesta ante Emergencias del CSN visite la página:

[http://www.csn.es/index.php?option=com\\_content&view=article&id=77&Itemid=109&lang=es](http://www.csn.es/index.php?option=com_content&view=article&id=77&Itemid=109&lang=es)



## Serie divulgativa del CSN

Para cumplir adecuadamente con su misión de mantener informada a la población sobre el uso apropiado de las radiaciones y los materiales nucleares, el Consejo de Seguridad Nuclear ha editado numerosas publicaciones divulgativas monográficas, entre las que se encuentran, *La utilización de energía nuclear para producir electricidad*, *La protección de las trabajadoras gestantes expuestas a radiaciones ionizantes en el ámbito sanitario*, *Las radiaciones en la vida diaria* y *Revira: red de vigilancia radiológica ambiental*. Pueden descargarse en pdf desde:

[http://www.csn.es/index.php?option=com\\_content&view=category&id=74%3Aserie-divulgativa&layout=blog&Itemid=159&lang=es](http://www.csn.es/index.php?option=com_content&view=category&id=74%3Aserie-divulgativa&layout=blog&Itemid=159&lang=es)



## SISC

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



## Actas del Pleno del CSN

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



## Alfa

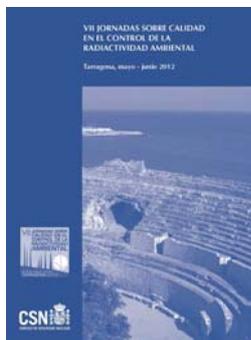
Puede acceder a los anteriores números de *Alfa*, revista de seguridad nuclear y protección radiológica en: [http://www.csn.es/index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=72&Itemid=157&lang=es](http://www.csn.es/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=72&Itemid=157&lang=es)



# Publicaciones



**Guía de Seguridad 6.5**  
 Guía de ayuda para la aplicación de los requisitos reglamentarios sobre transporte de material radiactivo  
 (Actualizada en sus anexos según el ADR de 2013)



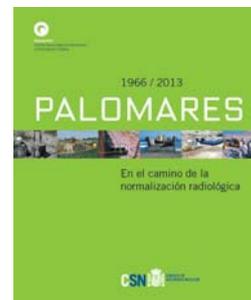
**VII Jornadas sobre calidad en el control de la radiactividad ambiental**  
 Tarragona, mayo–junio 2012



**Convención de Seguridad Nuclear**  
 Sexto Informe Nacional



**Informe del Consejo de Seguridad Nuclear al Congreso de los Diputados y al Senado Año 2012**  
 Informe anual  
 Resumen español  
 Resumen inglés  
 Edición en CD



**Palomares 1966 / 2013**  
 En el camino de la normalización radiológica

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

**Boletín de suscripción**

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

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

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

# Abstracts

## REPORTS

### 4 The Bohr atom's 100<sup>th</sup> birthday

One of the first and most prominent fathers of quantum mechanics – the area of science that attempts to explain the operation of the universe at its most infinitesimal level, that of particles and the forces of interaction between them – was Niels Bohr, the Danish physicist who proposed the first quantum model of the atom exactly 100 years ago.

### 9 The gateway to eternal youth

Scientists propose to open a gateway onto a longer life, without old age or cancer. The key is to be found in the telomeres, the ends of the chromosomes, which act as a kind of cellular clock. When these are too short, cells age and cease to reproduce. To repair them, the organism uses teleromase, a restoring enzyme.

### 14 Towards sustainable architecture

Architecture is beginning to take into account the principles of sustainability that are now invading all types of activities. Certain bioclimatic considerations, such as orientation or thermal insulation, might allow for savings of between 50% and 85% in the energy consumption of a building, a significant fact when it is remembered that buildings consume 40% of total energy.

### 20 The *alma mater* of Spanish nuclear professionals

The Centre for Energy-Related, Environmental and Technological Research, Ciemat, is the successor to the former Nuclear Energy Board, the first centre in Spain to undertake research into the energy of the atom, covering activities that would subsequently be taken over by Enusa, Enresa and the Nuclear Safety Council. Sixty years later, the research and development of in-house technology continues in this field.

### 25 The human mind in ten snapshots

Understanding the mechanisms that govern the working of the brain is the major challenge facing science in this century. One of the most important techniques allowing us to move forward along this path of research is functional nuclear magnetic resonance (NMR) imaging, which allows the activity of the brain to be registered live while a mental function is being performed. Ten such snapshots are offered here.

### 30 Recycling of metals without surprises

In 1998, the inadvertent presence of a radioactive source among metallic scrap destined for recycling led to the contamination of a large amount of material and the formation of a radioactive cloud at the Acerinox works in Cádiz. The event also gave rise to a voluntary protocol on prevention that has made Spain an international reference in the detection of radioactive sources in recyclable metallic wastes.

## 36 RADIOGRAPHY

Industrial uses of ionising radiations.

## 38 INTERVIEW

Rosario Velasco, vice-president of the Nuclear Safety Council: "I believe that the CSN enjoys a very healthy level of independence".

## TECHNICAL ARTICLES

### 43 A brief analysis of the system of penalties established in the Nuclear Energy Act

Non-compliance with the administrative standards may lead to very serious economic consequences for those operating in the field of nuclear safety and radiological protection. As a result, it is important to understand the essence of our catalogue of penalties and the underlying philosophy, in order to avoid uncertainty, defencelessness and privileged treatment.

### 50 Industrial applications of ionising radiations and safety and radiological protection requirements

Given the versatility that springs from the variety of physical processes that occur in interactions between radiation and matter, the use of ionising radiations in the world of industry is increasingly habitual. This article takes a look at the main applications in Spanish industry and describes the safety and protection requirements affecting each.



## Centro de Información del Consejo de Seguridad Nuclear

El **Centro de Información** del Consejo de Seguridad Nuclear es un centro interactivo en el que se explica qué son las radiaciones ionizantes, para qué se usan, qué riesgos tienen y cuál es la función del organismo encargado de la seguridad nuclear y la protección radiológica.

A través de un recorrido guiado por los 29 módulos, se pueden conocer con detalle diversos aspectos relacionados con las radiaciones.

En la vida diaria utilizamos las radiaciones con una enorme frecuencia, tanto relacionadas con la salud y la medicina, en diagnóstico y en terapia, como también en la industria y la investigación.

El Centro de Información del CSN pretende acercar a los visitantes el conocimiento sobre las radiaciones, sus usos, sus riesgos y los controles y la protección que es necesario aplicar para garantizar la seguridad en su utilización.