



## **Estimación de dosis poblacionales por diagnósticos de radiología y medicina nuclear**

Guardianes del espacio:  
la prevención de impactos  
meteoríticos

Criaturas salvajes:  
la vida en los ambientes más  
extremos de la Tierra

Entrevista a Francisco López,  
presidente de la Sociedad  
Nuclear Española

Tecnatom, más de medio  
siglo de tecnología nuclear  
española





“La dosis colectiva por exposiciones de los pacientes es ya 200 veces mayor que la dosis ocupacional de los trabajadores expuestos”



Más del 90% de la exposición de la población a las radiaciones ionizantes de origen no natural se deben a las exploraciones médicas diagnósticas, cuyo número aumenta de forma constante y notable, especialmente por el considerable desarrollo de las tecnologías de imagen médica, en particular de la tomografía computarizada y sus variantes. Este incremento ha hecho que la dosis colectiva debida a las exposiciones de los pacientes sea actualmente 200 veces mayor que la dosis ocupacional de los trabajadores expuestos. Y todo parece indicar que las cifras seguirán creciendo en los próximos años.

Los beneficios de estas tecnologías son evidentes, pero también suponen riesgos. El desafío consiste en reducir estos al tiempo que se maximizan aquellos. Por ello, la Comisión Europea promovió la realización de estudios en los países miembros sobre estimación de dosis poblacionales a partir de las dosis individuales por cada exposición médica, así como por grupos de edad y sexo.

Por este motivo, en España se pusieron en marcha los proyectos Dopoes y Domnes. El primero, que finalizará en 2014, se está llevando a cabo mediante colaboración entre el Consejo de Seguridad Nuclear y la Universidad de Málaga, y consiste en una prospección de los procedimientos de radiodiagnóstico utilizados en los centros sanitarios españoles, su frecuencia y las dosis recibidas por los pacientes y la población. El segundo, que finalizará en 2013, estudia los mismos parámetros en el caso de los estudios de medicina nuclear y se realiza en el marco del Foro de Protección Radiológica en el Medio Sanitario, compuesto por el CSN, la SEPR y la SEFM. *Alfa* publica en este número un extenso artículo que ilustra so-

bre la metodología que se está empleando y avanza algunos de los resultados obtenidos hasta la fecha por ambos estudios.

Entre los reportajes, destaca el dedicado a los organismos extremófilos, aquellos que han sabido adaptarse a las condiciones más hostiles de nuestro planeta. Algunos sobreviven congelados en la Antártida, otros lo hacen en agua hirviendo y los hay que soportan ambientes intensamente radiactivos, como *Deinococcus radiodurans* y *Thermococcus gammatolerans*. Otro reportaje nos ilustra acerca del vehículo robotizado *Curiosity*, que desde agosto de 2012 recorre la superficie de Marte, realizando una intensa actividad investigadora de su geología y ambiente.

La sección Tecnología Nuclear Española está dedicada a Tecnatom, una empresa especializada en la formación de operadores de instalaciones nucleares a través de simuladores que reproducen fielmente las salas de control de las centrales españolas, y en sistemas automatizados de inspección de equipos e instalaciones. También incluimos un reportaje dedicado a la amenaza de impacto de un meteorito y las medidas que la NASA y la ESA están desarrollando para conjurar el peligro. Otro narra el renacimiento de los balnearios como establecimientos turísticos en los que se combina tranquilidad y terapias adecuadas para algunas dolencias, sin olvidar el problema que plantea el radón presente en algunos de ellos. También se aborda la polémica sobre las descargas ilegales de internet y la vulneración de los derechos de autor, práctica en la que nuestro país es señalado como uno de los mayores implicados.

La entrevista, por último, recoge las opiniones de Francisco López García, presidente de la Sociedad Nuclear Española desde el pasado mes de febrero, que explica la actividad de esta institución. ©

## REPORTAJES

- 4 **Los guardianes del espacio**  
El impacto de un meteorito de grandes dimensiones contra nuestro planeta es una amenaza que cada vez se ve más probable en algún momento del futuro. Las agencias espaciales estudian fórmulas para intentar evitar la catástrofe, monitorizando los objetos más amenazantes y desarrollando programas para su desvío o destrucción.
- The guardians of space.** The slamming of a large meteorite into our planet is a threat that is increasingly seen as being probable at some time in the future. The space agencies investigate formulae aimed at preventing this catastrophe, tracking the most threatening objects and developing programmes to divert or destroy them.
- 10 **La tentación de lo gratuito**  
Las descargas ilegales de internet se han convertido en uno de los conflictos más enconados entre los aparecidos de la mano de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación. España es uno de los países que más infringen los derechos de autor, pero ha conseguido estar fuera de la lista 301, el catálogo de referencia de la agencia estadounidense que controla este tráfico ilegal.
- The temptation of what is free.** Illegal downloading from the Internet has become one of the most fiercely burning of the conflicts that have sprung up as a result of new information and communication technologies. Spain is one of the countries that most infringes copyright laws, but has managed to say off the 301 list, the reference catalogue of the US agency that controls this illegal trafficking.
- 14 **Criaturas salvajes**  
En pocos lugares del planeta no hay rastro de vida. No importa cómo de extremas sean las condiciones ambientales, casi siempre hay alguien que ha evolucionado para acomodarse al medio. Criaturas que pueden sobrevivir congeladas, o en agua hirviendo, o sin agua durante décadas, o en ambientes extremadamente ácidos, o soportando niveles increíbles de radiación.
- Wild creatures.** There are very few places on the planet where life has completely disappeared. No matter how extreme the environmental conditions, there is always *somebody* who has evolved in such a way as to take advantage of the medium and survive. Creatures that can live through being frozen solid, or in boiling water, or without water for decades, or in extremely acid environments or putting up with incredible levels of radiation.
- 22 **Un robot detective en Marte**  
El vehículo automático *Curiosity* recorre desde el pasado mes de agosto la superficie de Marte, para estudiar las condiciones de habitabilidad del planeta rojo, donde pudo haber vida en el pasado, aunque hoy su superficie parece esterilizada debido a la intensa radiación que soporta. En apenas un año, el mayor ingenio depositado jamás en otro planeta ha realizado ya descubrimientos sorprendentes.
- A detective robot on Mars.** Since last August the automatic vehicle Curiosity has been scuttling across the surface of Mars, to study the conditions of habitability of the red planet, where, despite the surface now being sterile because of the intense radiation it has to withstand, there may have been life in the past. In just a year this vehicle, the largest artefact ever placed on another planet, has already made some surprising discoveries.
- 30 **Tecnatom, la necesidad y la virtud**  
Creada en 1957, Tecnatom participó decisivamente en la construcción de José Cabrera (Zorita), la primera central nuclear de España. Después evolucionó para convertirse en una empresa imprescindible para la formación de los operadores de centrales nucleares y para llevar a cabo inspecciones de sus instalaciones. Hoy exporta una gran parte de su tecnología y está presente en treinta países.

**Corrección**

En el artículo “Marco normativo para la restauración de zonas contaminadas después de un accidente nuclear”, publicado en *Alfa* 20 del pasado mes de junio, donde dice: “En Palomares, el CSN estableció en 2003 los siguientes criterios: [...] para dosis inferiores a 0,01 mSv/a no se impone ninguna restricción, por entenderse la situación optimizada [pág. 60]”, tendría que decir “para dosis inferiores, no se impone ninguna restricción”.

**Tecnatom, the need and the virtue.** Set up in 1957, Tecnatom participated decisively in the construction of the José Cabrera (Zorita), the first nuclear power plant in Spain. Since then, the company has evolved into an essential player for the training of the operators of nuclear power plants and the performance of all types of inspections at their installations. The company now exports a large part of its technology and is present in thirty countries.

## 35 Balnearios, salud que emana de la Tierra

En España hay más de un centenar de establecimientos de aguas minero-medicinales que se han convertido de nuevo en objetivo turístico para quienes buscan combinar descanso y tratamiento de algunas dolencias. En ocasiones, con las aguas aflora también radón, y aunque no supone riesgo para los pacientes, los empleados deben tomar ciertas precauciones.

**Spas, health that springs from the Earth.** In Spain there are more than a hundred establishments offering mineral and medicinal waters that have once again become tourism centres targeted by those looking to combine rest with the healthy treatment of certain ills. Occasionally radon springs up with the waters, and although this does not pose any risk for the patients, the employees have to take certain precautions.

## RADIOGRAFÍA

## 40 Las iniciativas Megaport y CSI

**The Megaport and CSI initiatives**

## ENTREVISTA

## 42 Francisco López García, presidente de la Sociedad Nuclear Española: “El Plan de Acción es una oportunidad para que la industria dé un salto adelante en calidad y seguridad”

**Francisco López García, president of the Spanish Nuclear Society: “The Action Plan is an opportunity for the industry to take a leap forward in quality and safety”**

## ARTÍCULOS TÉCNICOS

## 49 Estimación de las dosis poblacionales en España por procedimientos diagnósticos de radiología y medicina nuclear

En los últimos años se ha producido un notable incremento de las exploraciones médicas realizadas mediante radiaciones ionizantes. Por ello, la Comisión Europea tomó la iniciativa de realizar estimaciones de dosis a la población debidas a esta causa. En España se están llevando a cabo los proyectos Dopes y Domnes, por parte del CSN en colaboración con otras entidades.

**Estimation of population doses in Spain from diagnostic procedures in radiology and nuclear medicine.** In recent years there has been a significant increase in the number of medical examinations performed using ionising radiations. For this reason the European Commission took the initiative of estimating the dose to the population as a result of these practices. In Spain the CSN is undertaking the Dopes and Domnes projects in collaboration with other bodies.

## 60 PANORAMA

## 63 PRINCIPALES ACUERDOS DEL PLENO DEL CSN

## 64 EL CSN INFORMA

## 67 WWW.CSN.ES

## 68 PUBLICACIONES

# ALFA

Revista de seguridad nuclear  
y protección radiológica

Editada por el CSN

Número 21 / II trimestre 2013

### Comité Editorial

Fernando Martí Scharfhausen

Antonio Munuera Bassols

Fernanda Sánchez Ojanguren

Enrique García Fresneda

Manuel Toharia Cortés

Ignacio Fernández Bayo

### Comité de Redacción

Concepción Muro de Zaro

Natalia Muñoz Martínez

Antonio Gea Malpica

Víctor Senderos Aguirre

Ignacio F. Bayo

### Edición y distribución

Consejo de Seguridad Nuclear

Pedro Justo Dorado Dellmans, 11  
28040 Madrid

Fax 91 346 05 58

peticiones@csn.es

www.csn.es

### Coordinación editorial

Divulga S.L.

Diana, 16 - 1º C

28022 Madrid

### Fotografías

CSN, Divulga, Javier Fernández,

iStockphoto y Depositphotos

### Impresión

Estigraf 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.

Las agencias espaciales se preparan para evitar las catástrofes producidas por impactos meteoríticos



› Elena Sanz,  
periodista científica

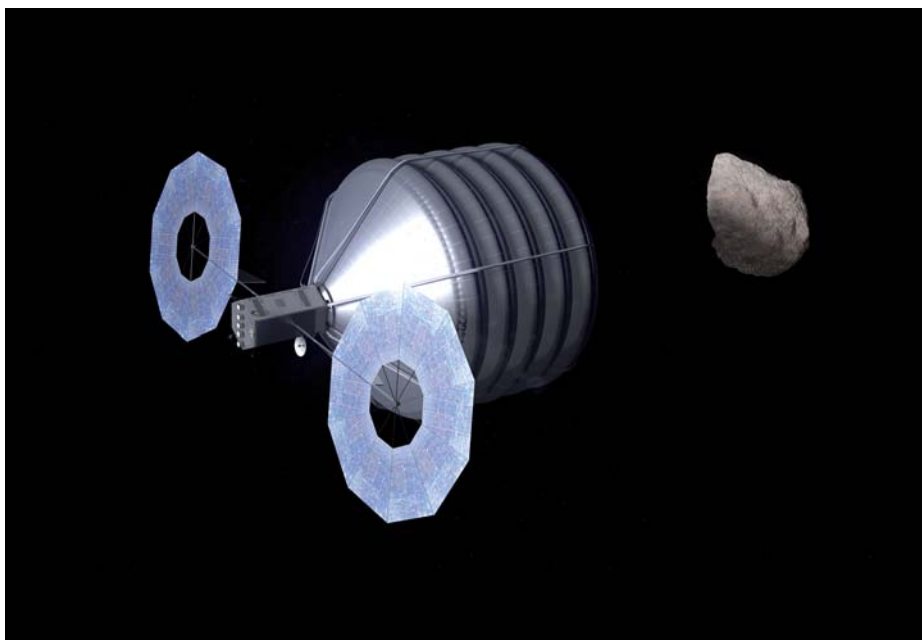
## Los guardianes del espacio

La posibilidad de un futuro impacto de un asteroide con la Tierra ha hecho correr ríos de tinta entre los escritores de ciencia ficción, además de inspirar algunas de las mayores superproducciones cinematográficas de Hollywood. Pero la realidad es que el riesgo de colisión existe, y que científicos e ingenieros de todo el mundo llevan años poniendo todo su empeño en mejorar las tecnologías disponibles para “ver venir” a los asteroides con suficiente antelación y detenerlos antes de que provoquen alguna catástrofe.

Cuando el pasado 15 de febrero el asteroide 2012DA14 atravesó el espacio que separa a la Tierra de sus numerosos satélites de comunicaciones, la comunidad científica no le quitó ojo. Transitaba a unos 27.700 kilómetros de la superficie terrestre con una velocidad cercana a los 28.000 kilómetros/hora, lo que significa que si la Tierra fuera una pe-

lota de tenis y la Luna una canica situada a dos metros de distancia, el asteroide hubiera pasado a tan solo 14 centímetros de nuestro planeta. “Aunque no había riesgo de que este cuerpo rocoso nos golpease, puso en evidencia los peligros que suponen los llamados Objetos Cercanos a la Tierra (NEO, por sus siglas en inglés), porque solo hemos identificado





NASA

a pesar de su nombre no son valientes superhéroes ni tampoco protagonistas de un cómic de ciencia ficción, sino instrumentos que emplea el Programa de Observación de Objetos Cercanos a la Tierra de la NASA para monitorizar durante 24 horas, los 365 días del año, si algún asteroide o cometa de más un kilómetro de diámetro se aproxima peligrosamente a la Tierra. Los asteroides no son otra cosa que las porciones de materia que no se incorporaron a ninguno de los planetas del sistema solar debido a que la gravedad de Júpiter se lo impidió y se lo ha seguido impidiendo desde entonces. Sin una fuerza gravitatoria potente, los asteroides trazarían órbitas similares con parecidas velocidades, lo cual favorecería que se unieran entre sí formando cuerpos mayores. Sin embargo, la gran masa joviana no deja de perturbarlos, provocando que colisionen entre sí y no puedan unirse. Cuando uno de estos peda-

Proyecto de la NASA para capturar un asteroide y estudiar sus características.

10.000 del millón que se estima que podría haber ahí fuera”, advertía el astrónomo británico Mark Gallaway, del Bayfordbury Observatory, uno de los exper-

tos que siguió minuto a minuto el momento desde Europa.

No le faltaba razón. De ahí que necesitemos a los *guardianes del espacio*, que



NASA

Traectoria del bólido que el pasado 15 de febrero cayó en la zona rusa de Chelyabinsk. Según se ha calculado, el meteorito tenía 15 metros de diámetro y 40 toneladas de peso.

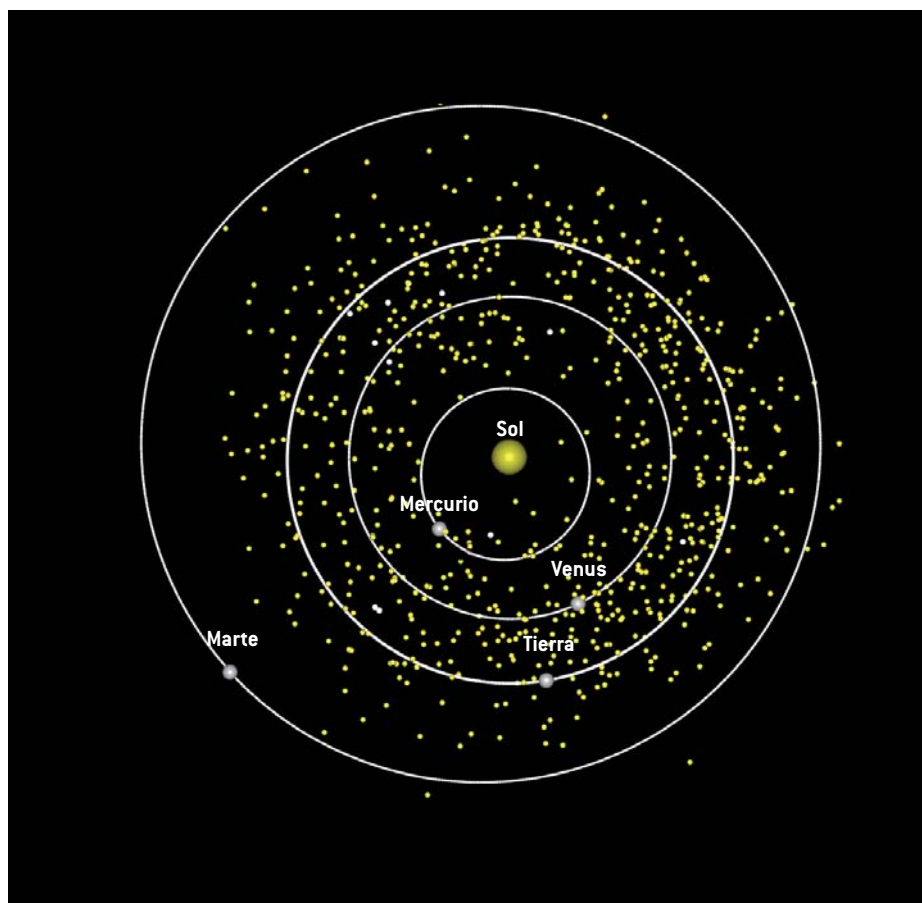
zos de roca se escapa de su órbita principal, entre Marte y Júpiter, puede acercarse peligrosamente a la Tierra.

Los otros cuerpos amenazantes son los cometas, que al acercarse al Sol pueden llevar una dirección de colisión con la Tierra, e incluso si no es así, pueden ver alterada su trayectoria por la gravedad de los planetas a los que se aproximen. Estos cuerpos de polvo y hielo, procedentes de dos zonas exteriores del sistema solar, la nube de Oort y el cinturón de Kuiper, pueden ser tan voluminosos como un gran asteroide y causar por tanto efectos igualmente catastróficos.

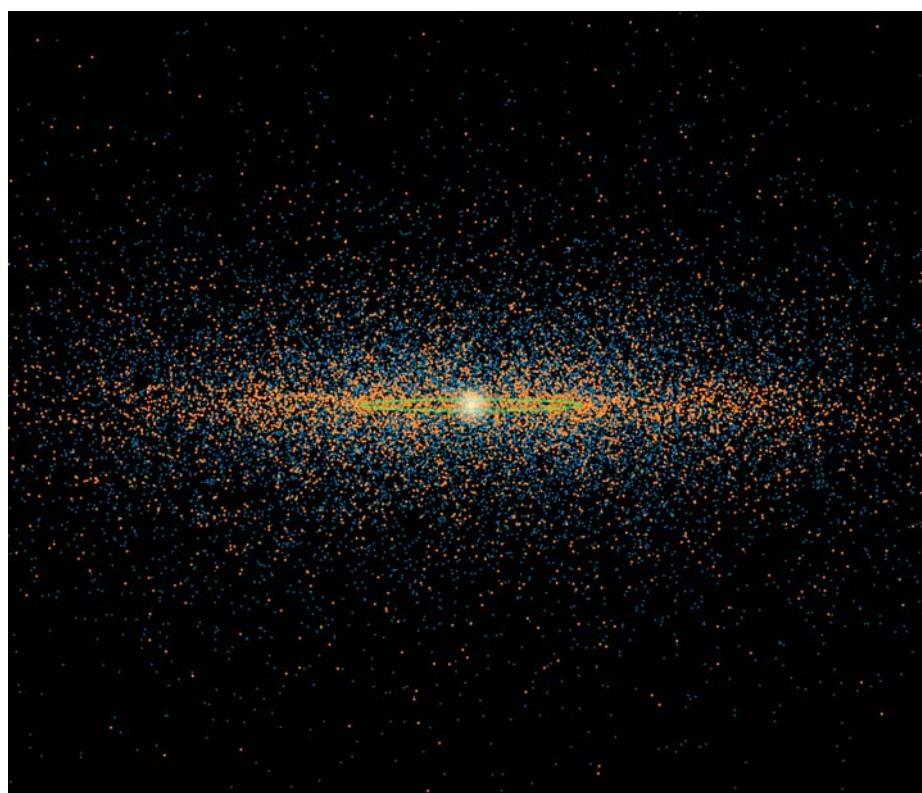
Y como ante estos “terroristas espaciales” parece que toda precaución es poca, desde Europa los científicos del programa Space Situational Awareness (SSA) de la Agencia Espacial Europea (ESA) han decidido crear una red de telescopios ópticos automatizados, de un metro de diámetro cada uno de ellos, que juntos harán un barrido completo del cielo cada noche con el fin de “divisar los asteroides al menos tres semanas antes de su máxima aproximación a la Tierra”, tal y como adelantaba Detlef Koschny, responsable del programa NEO de la ESA.

Claro que, si se trata de vigilar objetos que podrían suponer una amenaza para nuestro planeta, resulta mucho más eficaz enviar a los “guardianes” al otro lado de la atmósfera. Eso es lo que llevó a científicos de la NASA a poner en marcha la misión Neowise, en la que una nave dotada de sensores infrarrojos catalogó en 2011 un sinfín de asteroides, cometas y cuerpos pequeños del sistema solar.

El problema es que hay que tener en cuenta que los cometas y los asteroides no emiten luz visible sino que la reflejan, y por eso observarlos con las lentes de los telescopios ópticos puede crearnos cierta confusión si se tiene en cuenta que una pequeña roca de colores claros se asemejaría a una grande pero con tonalidades oscuras, y viceversa. Por el con-



Mapa de posiciones de cuerpos NEO realizado en julio 2012.



Vista lateral del sistema solar con los objetos catalogados por Neowise.

## Megatones que caen del cielo

¿Qué sucedería si un meteorito de 10 kilómetros de diámetro cruzase la atmósfera terrestre y penetrase en la corteza de nuestro planeta a una velocidad de 15 a 20 kilómetros por segundo? Su energía cinética equivaldría a 300 millones de armas nucleares, y durante varios minutos produciría temperaturas superiores a las que se registran en la superficie del Sol, según han calculado científicos de la División de Física Aplicada del Laboratorio Nacional de Los Álamos, en Nuevo México (Estados Unidos), usando una simulación en tres dimensiones. Los científicos aseguran que tras el impacto se formaría una bola de fuego de aire supercaliente, con vientos que alcanzarían cientos de kilómetros por hora, seguida de una demoledora onda expansiva. El vapor y los escombros liberados a la estratosfera bloquearían durante meses la llegada de luz solar a la superficie del planeta. Y entonces la Tierra se volvería tremendamente fría, oscura y hostil, igual que si se sumiese en el “invierno nuclear” que provocaría el uso de bombas atómicas. La situación resultaría insostenible para la mayoría de las plantas, que sin luz no podrían realizar la fotosíntesis, y aniquilaría a los herbívoros que se alimentan de ellas. En última instancia, también los carnívoros y el resto de la cadena alimentaria tenderían a desaparecer de la faz de la Tierra. Solo los seres que lograsen sobrevivir bajo el suelo o en cuevas y alimentarse de semillas, raíces y materia en descomposición podrían sobrevivir a tan fatídico escenario. ▶

trario, infrarrojos como los que emplea Neowise permiten disipar las dudas al captar las emisiones térmicas de los cuerpos celestes. Y esto, además de permitir

estimar de manera precisa el tamaño de los asteroides que revolotean a nuestro alrededor, ofrece pistas importantes acerca de su composición. El proyecto



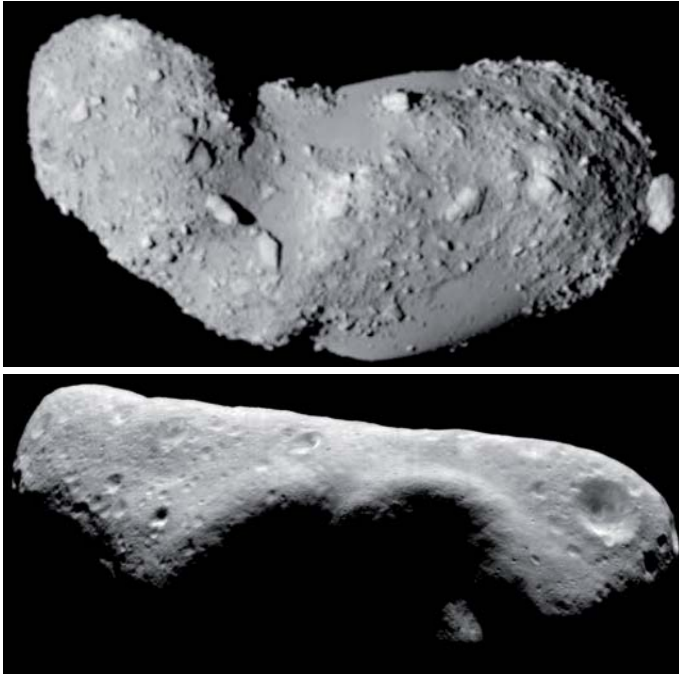
El célebre Meteor Crater de Arizona, provocado por un impacto meteorítico.

Neowise nació como una ampliación de la misión WISE de la NASA, lanzada en 2009 y que, previamente, había captado 2,7 millones de imágenes de objetos del cosmos, desde galaxias lejanas hasta cometas próximos a nuestro planeta.

Lo que tienen siempre presente los buscadores de rocas espaciales es que no todos los asteroides suponen la misma amenaza. Los que más preocupados tienen a los astrónomos, y que en cierto modo se encuentran en “busca y captura”, son los llamados asteroides potencialmente peligrosos (PHA, por sus siglas en inglés). Y tienen en común dos características esenciales. Por una parte, describen órbitas muy próximas a la Tierra, con una separación máxima que no supera los ocho millones de kilómetros. Y por otra, su tamaño es lo suficientemente grande para atravesar la atmósfera sin desintegrarse y, una vez a ras de suelo, causar daño a escala regional o incluso mayor.

Neowise ha cuantificado que podría haber 4.700 PHA pululando por el sistema solar con más de cien metros de diámetro. Se cree que la mayoría de estos cuerpos surgieron como resultado del choque entre dos grandes asteroides en el concurrido cinturón de ellos ubicado entre Marte y Júpiter. Muchos de estos cuerpos son brillantes, lo que indica que podrían contener granito o metales, un detalle que hay que tener en cuenta a la hora de valorar qué peligro supondría que colisionaran con la Tierra. “Nos va a llevar un par de décadas encontrarlos todos y decidir si alguno de ellos debería ser objeto de una misión espacial en el futuro”, aclara Lindley Johnson, responsable de Neowise.

Por sí, finalmente, la trayectoria de un asteroide amenaza con cruzarse con la órbita de la Tierra y golpearla sin piedad, los científicos ya están poniendo a punto sus armas. David Polishook, de la Universidad de Tel Aviv (Israel), asegura que, como en la taquillera película



Dos de los asteroides NEO conocidos, Itokawa (arriba) y Eros.



Los científicos modelizan los impactos para estudiar sus efectos.

*Armageddon*, que protagonizaban Bruce Willis y Ben Affleck, la mejor estrategia sería alterar la trayectoria del cuerpo cuando se sitúe a una distancia prudente, es decir, antes de que haga su entrada en la atmósfera terrestre. Así, si se produce una explosión no prevista, los pedazos se desintegrarían al atravesar la cubierta gaseosa del planeta sin generar una catástrofe.

Científicos de la Agencia Espacial Europea y del Laboratorio de Física de la Universidad John Hopkins (EE UU) creen que desviar asteroides es técnicamente posible, y están decididos a probarlo en la misión AIDA (siglas en inglés de Test de Redirección de Doble Asteroide), en la que, por primera vez, una nave impactará contra un cuerpo celeste, el asteroide binario Didymos, con el fin de cambiar su trayectoria. Didymos no supone un peligro para la Tierra, pero en el caso de que la misión resulte un éxito quedará demostrado que contamos con la tecnología que podría salvar al planeta si en algún momento su seguridad peligra. En concreto, el propósito de AIDA es enviar dos naves al espacio: DART

(Double Asteroid Redirection Test), que impactará contra el objeto menor, y AIM (Asteroid Impact Monitor), que registrará todos los detalles de la colisión. Si todo transcurre según lo previsto, DART alcanzará su destino el 7 de septiembre de 2022 a una velocidad de 6,1 kilómetros por segundo.

Menos cinematográfico pero posiblemente más cómodo sería intentar desviar un asteroide empleando el método que ha propuesto Dave Hyland, físico y astrónomo de la Universidad de Texas. Hyland le ha sugerido a la NASA que mande al espacio un cañón triboeléctrico cargado de pintura en polvo y capaz de lanzarla como si de un aerosol se tratara, cubriendo la masa rocosa amenazante con una fina pátina de color. Pero, ¿con qué fin? En esencia, al cambiar el color del asteroide se modificaría la cantidad de luz solar reflejada por este y, gracias al efecto Yarkovski, descubierto en 1902, la zona de su superficie que resultase más caldeada por el Sol irradiaría fotones infrarrojos que generarían un ligero empuje, modificando su órbita lo suficiente como para impedir la colisión.

Otra posibilidad bastante rocambolesca es la que propuso hace unos años un equipo de ingenieros de SpaceWorks Engineering, Inc. (SEI), una consultora de ingeniería con base en Atlanta (EE UU). Su solución consiste en desarrollar un enjambre de robots, alimentados por energía nuclear, que viajarían hasta el asteroide, aterrizarían sobre él, lo perforarían “a bocados” y lanzarían los pedazos de roca extraídos al espacio con la suficiente fuerza como para empujarlo gradualmente hacia un curso que no atravesase la órbita terrestre. El proyecto de los robots tenía un nombre bastante sugerente: MADMEN, siglas del inglés Modular Asteroid Deflection Mission Ejector Node.

Si Isaac Newton levantara la cabeza probablemente apostaría por la alternativa que plantea Edward Lu, astronauta y físico de la NASA. Se trata del “tractor gravitatorio”, una nave espacial de hasta 20 toneladas cuyo tamaño podría sacar de ruta al asteroide tan solo con encender sus motores en una dirección específica cuando se encuentre cerca de la roca espacial. Es decir, permiti-



El cometa Ison, que se encuentra en las cercanías de la Tierra actualmente. A la derecha, simulación de la destrucción de un asteroide.

ría arrastrar al asteroide “a remolque” aprovechando la fuerza de gravedad, y el método funcionaría independientemente de la estructura, las propiedades de la superficie o la composición del asteroide, tal y como explicaba Lu en la revista *Nature*.

Por su parte, científicos de la Universidad Tsinghua (China) consideran que la opción más adecuada ante la amenaza de un impacto es emplear una sonda impulsada con una vela solar. Según el físico Sheng-Ping Gong, la nave circularía en sentido contrario a la roca, propulsada únicamente por la radiación procedente del Sol, con el ahorro de combustible que ello supone. Si se lanza con suficiente antelación, en torno a un año, el navegante solar alcanzaría la velocidad necesaria para que el “golpecito” desviara la trayectoria del asteroide. Por usar un símil que todos entendemos, este método, conocido con el nombre técnico de “interceptación cinética”, causaría el mismo efecto que un coche de choque que golpee a otro en un parque de atracciones.

En la Universidad de Glasgow (Reino Unido) han trazado un plan muy di-

ferente: quieren mandar espejos flotantes al espacio. Al alcanzar el objeto rocoso que se pretende interceptar, aseguran los investigadores, estos espejos concentrarían sobre él los rayos de luz necesarios para derretir parcialmente la roca, hacer que parte de su contenido se evapore y desviar de este modo su ruta lejos de la Tierra. Massimiliano Vasile y sus colegas han calculado que harían falta que una decena de naves volando en formación, cada una de ellas equipada con un espejo de 20 metros, persiguieran a un asteroide durante seis meses apuntando sobre su superficie el reflejo de la luz solar para conseguir apartarlo definitivamente de su camino.

Como puede verse, ideas no faltan a la hora de evitar una amenaza que no es nueva ni mucho menos. Algunos asteroides de gran tamaño ya han impactado contra la Tierra en más de una ocasión. El más popular fue el que alcanzó Yucatán (México) hace 65 millones de años y que probablemente provocó la extinción del Cretácico, acabando con los dinosaurios, entre otros seres vivos. Más reciente fue el impac-

to del asteroide o meteorito que provocó la explosión de Tunguska en 1908, que devastó por completo un área casi deshabitada en mitad de Siberia, cuya superficie total superaba a la de Londres. Se ha calculado que la detonación fue un millar de veces más potente que la que causó la bomba arrojada sobre Hiroshima en 1945.

La siguiente colisión, según teme la NASA, podría venir de la mano de Apofis. Descubierta en 2004, y llamado así en referencia al dios egipcio del mal, el caos y la destrucción, este asteroide tiene un tamaño equivalente a tres campos de fútbol y pesa nada menos que 46 millones de toneladas. Pese a que los últimos cálculos realizados estiman que el peligro que representa este objeto rocoso es prácticamente nulo, existe una remota posibilidad de que, tras visitarnos en 2029, el asteroide atraviese una región del espacio llamada “cerradura gravitacional”, cambie su trayectoria, y en 2036 vuelva a pasar por segunda vez cerca de la Tierra, o incluso que cruce su órbita. Para entonces deberíamos estar preparados para evitar la catástrofe. ©

España está considerado uno de los países que realizan más descargas ilegales a través de internet



> Óscar Menéndez,  
periodista científico

## La tentación de lo gratuito

El nombre de nuestro país ha estado siempre subiendo y bajando de la lista negra de los perseguidores de las descargas de material protegido por derechos de autor. Aunque finalmente, y pese a las constantes amenazas, los españoles no figuran en la última edición de la llamada "lista 301", parece difícil que renunciemos al vicio de ahorrarnos los derechos de uso y reproducción de fotos, música, películas, libros y programas informáticos. Las páginas específicas de descargas entre usuarios son tan sencillas de utilizar que representan una tentación a la que resulta difícil sustraerse. Internet se ha convertido en el Edén de la gratuidad, pero los derechos de los autores exigen crear un nuevo orden que equilibre la situación.

Los internautas españoles "bajan" todo tipo de archivos de internet, incluyendo películas, series de televisión, música y, ahora, con la eclosión del e-book, también libros electrónicos. Una simple visita a cualquier web de descargas permite disponer de cantidades y cantidades de material que pese a estar protegido por derechos de copia, está gratuitamente al alcance de un solo *click*.

Si un navegante de nuestro país quiere ver su serie preferida puede esperar a verla por la televisión, generalmente al poco de su estreno en las cadenas de pago y, un poco más tarde, en las gene-

ralistas. Pero, si no quiere esperar, también puede acercarse a cualquiera de las páginas especializadas en descargas y ver cómo tiene a su disposición todas las series y películas del mundo imaginables. Viejas y nuevas, desde la primera hasta la última temporada. Películas de estreno y clásicos, en versión original y también dobladas. Incluso en diferentes calidades de grabación, dependiendo de las ganas de esperar a que termine la descarga o de las prestaciones de su aparato de reproducción.

Este navegante español tiene decenas de webs especializadas en proporcionarle



David Maeztu, abogado especializado en derechos de autor.



Los últimos dos ministros responsables de Cultura, Ángeles González Sinde, que sacó adelante la ley que controla las descargas ilegales, y José Ignacio Wert Ortega, que ha aprobado el Reglamento de aplicación de dicha ley.

este servicio. Un simple vistazo a dos de las más conocidas, Series Yonkis y Películas Yonkis, permite disponer de una variedad prácticamente imposible de alcanzar en el más aclamado videoclub del país. El problema es que descargarse una de estas piezas es muy sencillo... pero también es ilegal.

Las leyes, tanto en España como en el resto del mundo, reconocen a los autores audiovisuales los derechos sobre sus obras, y eso incluye su reproducción. “La descarga supone un acto de reproducción”, explica David Maeztu, abogado especializado en derechos de autor, “y la reproducción de una obra, si no está amparada por la copia privada, es decir, que la obra accedida esté puesta a disposición de forma lícita; no es legal si no se cuenta con el permiso del autor”.

Pese a lo que piensan todavía muchas personas, bajarse una película y disfrutar de ella en privado sí representa una ilegalidad, aunque no se pretenda obtener un beneficio con ello, según explica Maeztu: “Esto es independiente del ánimo de lucro, que es solo un aspecto para calificar la conducta como delito. Por lo tanto es ilegal haya o no este propósito. Otra cuestión es si se

dan los requisitos para que sea un delito. Y en el caso de los hogares difícilmente se puede decir que lo sea”.

No es delito, pero es ilegal. Y, visto lo visto, es una ilegalidad flagrante. Aunque España se ha salvado de entrar en la conocida “lista 301”, la lista negra de la piratería, ello no significa que nuestro país sea considerado un lugar en el que se respeta la propiedad intelectual. La 301 es una lista realizada por la Oficina del Representante de Comercio de los Estados Unidos, la agencia de ese país responsable de recomendar y desarrollar una política comercial para el Gobierno. Incluye a los países que no respetan la copia de contenidos con propiedad intelectual, y dicha Oficina de Comercio se reserva el derecho a imponer sanciones comerciales sobre ellos.

Hasta 2011, España estaba en esa lista negra, que encabezan naciones como Ucrania o China, y donde también se incluyen otros países occidentales como Canadá o Italia. En la última versión, España ha logrado salir de la lista, pero se encuentra aún lejos de conseguir sacar buena nota. El informe menciona explícitamente a nuestro país y establece el mantenimiento de controles para comprobar su evolución.

La no inclusión de España en esta lista negra es, desde luego, una noticia positiva. La propia agencia reconoce los esfuerzos continuados de nuestro país para generar una política firme de protección de los derechos de autor. La conocida como Ley Sinde-Wert empezó a tomarse el asunto de las descargas ilegales como algo realmente serio. Fue diseñada por la ministra de Cultura del anterior Gobierno, Ángeles González Sinde, y aprobada en 2009; el otro apellido de la Ley procede del actual ministro de Educación, Cultura y Deporte, José Ignacio Wert Ortega, que ha sido el encargado de desarrollar el reglamento en el año 2012. El ataque que supone a las descargas ilegales ha hecho que algunos internautas la consideren como un atentado a las libertades.

La ley Sinde, cuyo nombre oficial es Ley de Economía Sostenible, es en verdad una norma contra las webs de descargas, que permite establecer atajos para ordenar el cierre de dichas páginas, aunque éstas pueden saltar en unos días, casi en unas horas, de una dirección de internet a otra. Entre dichos atajos establecidos por la normativa está la posibilidad de que una institución no judicial, concretamente la Sección Segunda de la Co-

## Tu libro no es tuyo

Cuando uno compra una película, una canción o un libro electrónico puede acabar pensando que la obra es suya. Sin embargo, no es así. Al comprarlo, lo que uno ha hecho ha sido, básicamente, comprar los derechos de reproducción.

Para evitar que los usuarios realicen copias ilegales, los productores (ya sean de cine, discográficas o editoriales digitales) cuentan con el Digital Rights Management, o gestión digital de derechos. El DRM es un *software* que *castra* los DVD, CD o incluso los ejemplares digitales comprados *on line*. Con él, no podemos realizar copias de nuestros productos.

Originalmente, el DRM impedía que pudiéramos copiar un disco o una película, pero en la actualidad, con la expansión de las ventas *on line*, este sistema impide que se pueda reproducir un archivo en un aparato que no sea el original. Y eso es algo que produce un notable enfado en los usuarios.

“El DRM”, explica Javier Pedreira, ‘es una inutilidad que solo molesta a los clientes que realmente quieren comprar y que, por ejemplo, no pueden hacer una copia de un DVD que acaban de adquirir aunque el derecho a copia privada les ampare. Por otra parte me parece sangrante no poder prestarle, al menos no oficialmente, los libros que compro en Amazon a mi mujer o a mis hijos”.

Lo cierto es que el DRM solo limita a los internautas menos habilidosos. En la red hay numerosos programas que permiten liberar las copias de este molesto corsé. Quien quiere, puede hacerlo, y difícilmente tendrá jamás algún problema legal, ya que le ampara el derecho a realizar copias privadas. “Nunca se ha visto un sistema DRM que durara más que unos días, o a lo sumo semanas, después de que entra en contacto con la realidad”, dice Pedreira. A su favor tiene el ejemplo de grandes corporaciones como Apple con su exitosa tienda *on line* iTunes, que hace tiempo que renunció a implementar DRM en sus canciones. ▶



Javier Pedreira, fundador de Microservos, pionero de los blogs de ciencia.

hacen los particulares no cumple los requisitos del delito, no se puede buscar a quien descarga algo”. Sin embargo, en la nueva ley Lassalle sí se perfila esta búsqueda del usuario final. “El legislador, por alguna razón, se empeña en introducir esta posibilidad en la ley, aun cuando en principio no está prevista para particulares. Y este cambio solo tiene sentido si se pretende, en algún momento posterior, ir contra los usuarios”, prosigue Maeztu.

Para Javier Pedreira, más conocido como *Wicho* y fundador del popular blog Microservos, la posibilidad que marca la ley de que las compañías telefónicas estén obligadas a aportar las IP de sus clientes cuando se les requiera, es “inaceptable”. Lo explica: “Esto antes solo se podía hacer para delitos graves, y aun así en muchos casos los jueces denegaban la autorización para hacer esa identificación. Que se vayan a poner los delitos contra la propiedad intelectual por delante me parece simplemente inaceptable”.

Los usuarios son el destino final de las descargas piratas. Y el primer camino de este acto ilegal pasa por las webs de contenidos, donde se almacenan directamente las copias. La más popular de todos los tiempos posiblemente haya

misión de Propiedad Intelectual, pueda ordenar el cierre de las páginas que se considere que vulneran la propiedad intelectual. Es decir, podemos asistir al cierre de algunas webs sin la participación activa de un juez, aunque es algo que todavía no ha ocurrido.

Pero la ley Sinde-Wert no ha sido suficiente. El Gobierno tiene en preparación una nueva normativa antidescargas. El Consejo de Ministros aprobó el pasado mes de marzo la Ley de la Propiedad Intelectual, que todavía tiene que ser debatida en el Parlamento. Al igual que su antecesora, ya es conocida por el apellido del secretario de Estado del momento, José María Lassalle Ruiz.

Y, como era de esperar, la ley Lassalle ya ha sido rechazada por muchos internautas, que temen que esta normativa dé el salto y no solo persiga a las páginas de descargas (donde se encuentran físicamente ubicados los archivos) y a las páginas de enlaces (las que apuntan las direcciones de los archivos), sino también a los propios autores de las descargas.

No es difícil descubrir quién realiza una descarga ilegal. Basta con buscar su IP, su dirección personalizada y única en internet. Según David Maeztu, “la identificación del titular a quien se ha asignado una IP solo se puede hacer en el caso de delitos graves, aquellos con pena superior a cinco años de cárcel. Como lo que



Manifestación a favor de la libertad de descargas.

sido Megaupload, propiedad del informático alemán Kim Dotcom (Kim Puntocom, diríamos en español). Este empresario fue apresado en Nueva Zelanda en enero de 2012, de acuerdo con un requerimiento del FBI estadounidense, que realizaba una investigación. Su web fue clausurada y sus millonarias posesiones controladas por la justicia, aunque ello no impidió que, meses después, un Kim Dotcom sobre el que pesa una orden de extradición a Estados Unidos abriera Mega, una nueva página de descargas que desde su nacimiento ha tenido un éxito notable.

La historia del cierre de webs parece interminable. Como interminable es la lista de nuevas páginas que se abren casi inmediatamente tras el cierre de un competidor. Así, las descargas piratas parecen incontrolables. Como decía en su cuenta de Twitter el abogado David Bravo tras el cierre de Megaupload: “Si un niño pone un dedo en uno de los agujeros de un colador, solo él piensa que ahora se filtra menos cantidad de agua.”

De hecho, el cierre de la web de Kim Dotcom provocó un auge del P2P. El *Peer to Peer* (P2P o Punto a Punto) no es una página de descargas al estilo Megaupload, sino una red en la que los internau-

tas intercambian sus archivos desde sus propios ordenadores mediante programas específicos. Estos programas han evolucionado desde el primer sistema, Napster, que fue obligado a cerrar ya en 2001, a los actuales eMule y sobre todo BitTorrent, que son no clausurables, puesto que descansan completamente en la actividad y los ordenadores de los propios usuarios.

¿Cerrar las webs es querer poner puertas al campo? Muchos internautas consideran que una gran parte de la culpa de las descargas la tiene la industria, que no avanza a la velocidad de las nuevas tecnologías y no es capaz de ofrecer servicios directos tan rápidos y efectivos como las descargas ilegales. La implementación de servicios como iTunes, la tienda de música *online* de Apple que vende cada canción por cerca de un euro, y sobre todo Spotify, un sistema para escuchar música a través de la red a cambio de recibir publicidad o por una módica cantidad mensual, han revolucionado el mundo digital. Tanto que ya apenas hay descargas de musicales ilegales. IFPI, la patronal mundial de las discográficas, ha confirmado que en 2012 la industria creció por primera vez desde 1999. Eso sí, con un limitado 0,2%.

“Siempre va a haber descargas porque siempre habrá alguien que no esté dispuesto a pagar ni diez céntimos por nada”, explica Javier Pedreira. “Pero si hubiera una oferta legal a un precio razonable y que funcionara en todos los dispositivos más y más gente la usaría. De hecho, en mi entorno, cuando buscamos una canción o un libro lo primero que hacemos es ir a iTunes y Amazon para ver si está, aunque si no lo encontramos en esos sitios, sabemos dónde buscarlo”.

Pero, ¿qué ocurre con series y películas que no están legalmente *online*? “Bueno, de las series y películas mejor no hablamos”, responde con cierto sarcasmo Pedreira. Es evidente que la ausencia de ofertas legales de *streaming* (visionado en directo desde internet) y el retraso en el estreno en España, especialmente de las series, provoca un número de descargas inusitado.

Los estudios, como el que sustenta la lista 301, dicen que nuestro país es precisamente uno de los que más descargas se realizan. Pero tanto el abogado Maeztu como el internauta Javier Pedreira niegan la mayor. “Habría que ver como se elaboran las encuestas y estudios que afirman eso”, dice David Maeztu, “pero lo cierto es que con un paro juvenil del 50% difícilmente se puede hacer pedagogía que eduque a los usuarios en el respeto a la propiedad intelectual cuando quieren conseguir algo. Si no hay dinero y hay oferta de contenidos sin coste, es fácil que haya descargas. Además, si la pedagogía se basa en descalificar e insultar, provocarás una reacción mayor de rechazo”.

Una opinión que coincide con la de Pedreira: “Creo que es un asunto de educar a la gente, y aunque entiendo que un estudiante sin dos duros siempre se descargará todo lo que pueda, hay que educarlo para que cuando ya tenga dinero pague por esos contenidos”. ©



› Eugenia Angulo,  
periodista científica

Extrañas formas de vida son capaces de adaptarse a los ambientes más extremos del planeta

## Criaturas salvajes

Hay muy pocos lugares del planeta en los que la vida haya desaparecido por completo, no importa lo extremas que sean las condiciones ambientales, casi siempre hay "algo" que ha conseguido adaptarse y sobrevivir. Aunque el hielo haga jirones las membranas celulares y el calor disuelva, literalmente, la maquinaria celular, los ambientes extremos no son una barrera para la vida. Algunas criaturas pueden permanecer completamente congeladas en lagos submarinos de la Antártida; otras aguantan el agua hirviendo; las hay que sobreviven en ambientes extremadamente secos o soportando altísimos niveles de radiación. Las más arriesgadas han viajado al espacio y han vuelto para contarlo y otras, se han mudado a la troposfera. Son las criaturas más salvajes de la Tierra que desafían a la muerte y que por un tiempo valioso e inimaginable, la vencen.

**D**e todas las limitaciones y obstáculos que hay en la Tierra, hay uno al que la vida no consigue dar esquinazo desde los cerca de 4.000 millones de años que hace que habita en ella: la muerte. Aunque no se sabe exactamente en qué momento aparecieron los primeros seres vivos sobre el planeta, los restos fósiles más antiguos encontrados se remontan a hace unos 3.870 millones de años. Se trata de rudimentarios organismos procariotas —sin un núcleo que albergue el material genético, como las bacterias— y unicelulares, que la evolución ha moldeado durante millones de años con la paciencia de un alfarero, creando formas cada vez más complejas, organizadas, sofisticadas y adaptadas, hasta llegar a lo alto de la pirámide en la que, según el punto de vista antropocéntrico, nos encontramos nosotros, los seres humanos, los reyes de la evolución.

Sin embargo, ciertos seres vivos que pasan desapercibidos bien podrían merecer más ese título pues han logrado evolucionar y adaptarse a las regiones más inhóspitas del planeta, burlando el inevitable destino al que estaban siendo llamados a gritos, la muerte más dura, gracias a su obstinada determinación por sobrevivir, su

férreo tesón biológico. Son los llamados organismos extremófilos, que habitan en las condiciones más duras del planeta: en la oscuridad helada de los lagos subglaciales de la Antártida; expuestos al calor del mediodía del desierto del Sáhara; hirviendo a más de 100 °C en las fumarolas de las profundidades del océano; a kilómetros de altitud sobre la superficie de la Tierra...

### La carrera del frío

Por debajo de los 5 °C la química de la vida, es decir, las enzimas que actúan como catalizadores biológicos, comienzan a trabajar dolorosamente despacio. Pero al bajar de cero, la cosa realmente se complica: empiezan a formarse cristales de hielo en el interior y los alrededores de las células a las que chupan el agua como si fueran vampiros y hacen jirones sus membranas protectoras.

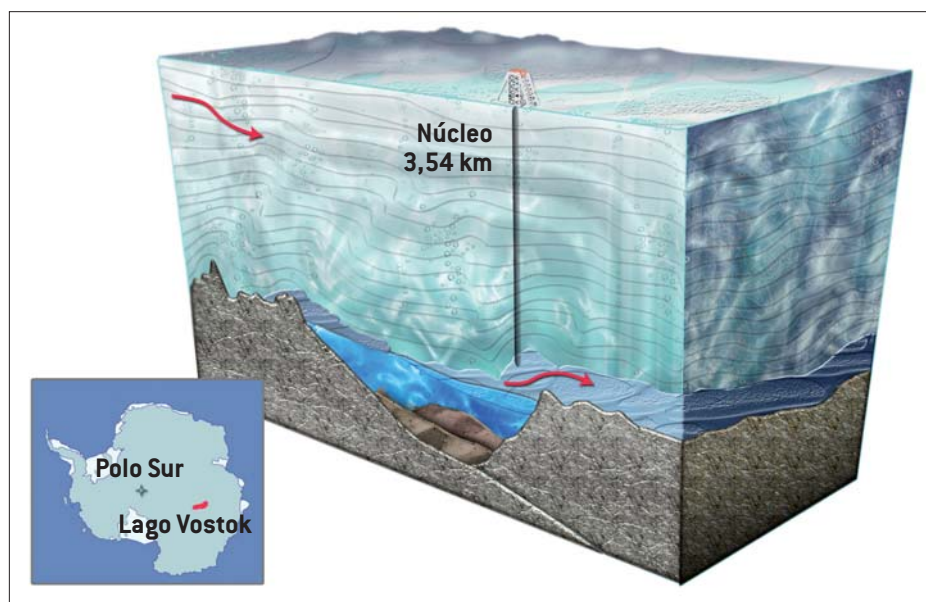
En la Antártida, la temperatura promedio en invierno baja de los -40 °C (en 1983 en la estación rusa de Vostok el termómetro marcó -89,3 °C, la temperatura más baja registrada nunca) de manera que hay muy poca vida en la superficie. El continente blanco es demasiado seco, demasiado frío. Pero si se accede al interior atravesando varios kilómetros de

NASA



En la Antártida, la región más fría del planeta, se encuentran organismos viviendo a decenas de grados Celsius bajo cero.

NSF



Esquema de la perforación realizada para acceder al lago antártico Vostok, donde se han localizado extraños organismos viviendo a más de 3.500 metros bajo el hielo.

gruesas capas de hielo se llega a un mundo nuevo donde las temperaturas ascienden ligeramente y la presión aumenta, por lo que existe agua líquida.

Se trata de una Antártida subglacial, un conjunto de lagos sellados bajo varios miles de metros de hielo antártico en la más absoluta oscuridad, con temperaturas extremas y alta salinidad. Y aun así, una Antártida más “clemente” en la que los científicos piensan que, a lo mejor, po-

dría haber *algo* vivo. Claro que estos podrían ser muy diferentes a los organismos que conocemos, puesto que han evolucionado aislados, bajo presiones altísimas, sin un rayo de luz solar, durante millones de años...

La “caza” ya está lanzada con varios grupos internacionales perforando en diferentes lagos. En enero, un equipo estadounidense atravesó 800 metros de hielo para alcanzar el Lago Whillans y

consiguieron tomar muestras del agua impoluta. Los británicos del British Antarctic Survey intentaron en diciembre cortar a través de la masa helada de tres kilómetros de espesor del lago Ellsworth en la capa de hielo occidental antártica, pero tuvieron que abortar la expedición. Y finalmente, tras varias décadas perforando para llegar al Vostok, el más grande de los lagos subglaciales, los rusos han encontrado ese *algo*.

Científicos del Instituto de Física Nuclear de San Petersburgo anunciaron recientemente el descubrimiento de una forma de vida que durante millones de años ha permanecido aislada en las profundidades heladas del lago, bajo 3.700 metros de hielo antártico. “Después de excluir todos los contaminantes posibles, hemos encontrado ADN bacteriano que no coincide con ninguna otra especie conocida de las bases de datos mundiales”, anunció a una agencia de noticias rusa Sergei Bulat, director de la investigación. Sí, parece que hay vida en las entrañas del continente pero además, es una forma completamente nueva.

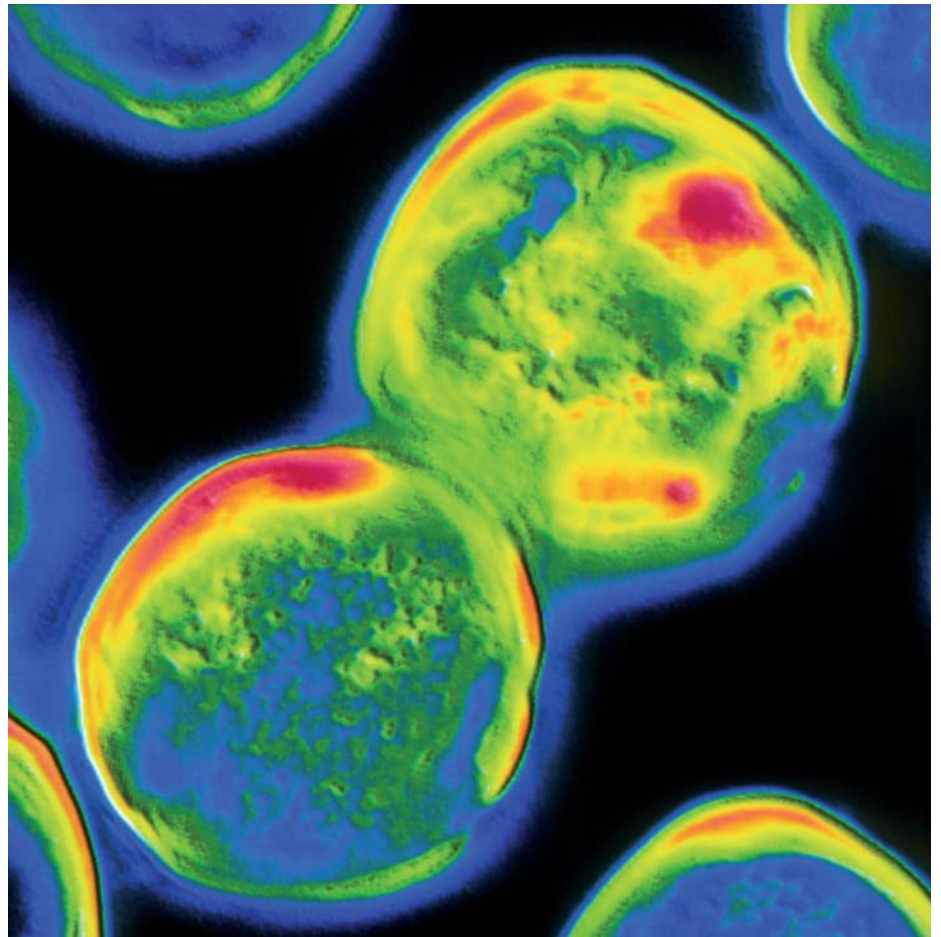
El equipo encontró restos de la especie misteriosa en siete muestras de agua que se había congelado en una cabeza de

perforación; extrajeron su ADN y lo compararon con el material genético de las especies registradas en las bases de datos mundiales. El resultado es que en ningún caso coincidía en más de un 86% con el de ninguna de ellas. “Le llamamos forma de vida ‘inidentificada’ e ‘inclasificable’. Si hubiese sido hallado en Marte la gente le llamaría ‘ADN marciano’, pero este ADN es terrestre”, explica Bulat.

Las muestras de agua se tomaron el pasado año y ahora el equipo ruso busca confirmar el hallazgo en nuevas muestras que han tomado hace unos meses y que en este momento van camino de Rusia para ser analizadas. De confirmarse, el hallazgo arrojaría luz sobre la evolución de la vida en la Tierra y podría dar pistas a los astrobiólogos sobre la posible existencia de vida latiendo en otros puntos del Sistema Solar. Por ejemplo, en Europa, una de las lunas de Júpiter, que cuenta con una corteza de hielo bajo la cual oscila un océano líquido.

A la espera de resultados más concluyentes, existen otras formas asombrosas de vida que han aprendido a convivir con el frío. Más del 80% de los habitantes de la Tierra tienen temperaturas por debajo de los 5 °C, de manera que no hay precisamente escasez de especies adaptadas. Los mamíferos y aves suelen ser los más aptos ya que generan su propio calor como producto del metabolismo. Además, aíslan sus cuerpos con la piel, la grasa y, en el caso de los pingüinos emperador, uno de los pocos habitantes de esta Antártida superficial, acurrucándose en masa contra los helados vientos antárticos que pueden hacer que la temperatura del aire descienda por debajo de los -60 °C.

El resto de animales que carecen de su propia calefacción interna aún tienen oportunidades para sobrevivir. Por ejemplo, unas raras criaturas parecidas a insectos, llamadas “colémbolos del Ártico” (*Megaphorura arctica*) han colonizado



*Archaeoglobus fulgidus* es un organismo termófilo que alcanza su mayor confort a 83 °C.

el Polo Norte gracias a una sorprendente capacidad que les permite disminuir el punto de congelación de sus fluidos corporales. Cuando se acerca el invierno sintetizan moléculas anticongelantes y se deshacen de cualquier cosa que pueda actuar como un punto de nucleación para los cristales de hielo que se forman alrededor, como el contenido intestinal. También fabrican crioprotectores como azúcares o glicoles para proteger a las células.

La oruga *Gynaephora groenlandica*, de la isla de Ellesmere, en Canadá, es un caso extremo. Hiberna a temperaturas de -70 °C, sobreviviendo en su caso al permitir que su contenido intestinal, la sangre y cualquier otro líquido extracelular se congelen. Y el nematodo de la Antártida (*Panagrolaimus davidii*), una especie de gusano, es el más difícil todavía,

pues permite la congelación del citoplasma —el contenido líquido— y deja solo el núcleo celular y otros orgánulos sin congelar. Los científicos no saben aún cómo pueden sobrevivir en ese extraño estado, aunque intuyen que podrían sintetizar un crioprotector que suavice los bordes de los cristales de hielo.

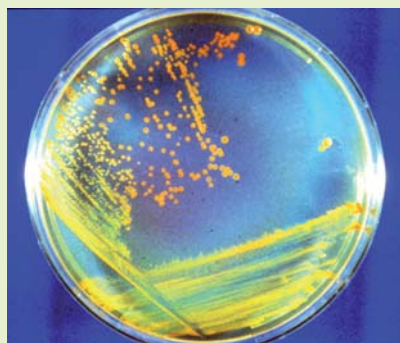
### En mangas de camisa

El calor es otro reto importante para la vida. En tierra, su exceso hace que el agua se evapore y sin agua, nada puede sobrevivir. ¿O sí? Los organismos termófilos son un tipo de criaturas que se caracterizan por desarrollarse en ambientes con temperaturas superiores a los 45 °C. El calor máximo que la vida puede soportar lo define el punto en el que moléculas complejas, como el ADN y las proteínas, empiezan a descomponer-

## La vida bajo los rayos

Los organismos extremófilos radiorresistentes han encontrado la manera de sobrevivir a la exposición de radiación de alta intensidad. El más conocido de ellos es la bacteria *Deinococcus radiodurans*, capaz de soportar los efectos letales de radiación ionizante y ultravioleta (superiores a los 1.000 J/m<sup>2</sup>). También las cianobacterias se protegen a sí mismas de los efectos de la radiación y varios microorganismos como *Rhodanobacter sp* y *Desulfuromonas ferrireducens* han sido encontrados vivos en presencia de alta concentración de radionucleidos.

Pero la prueba que determina la verdadera resistencia a la radiación es la supervivencia en el espacio exterior. Este es, probablemente, el ambiente más duro y hostil para la vida: temperaturas fluctuantes, oscuridad, vacío y una amplia gama de radiación electromagnética solar y radiación cósmica ionizante. Comunidades de un tipo de microbios llamados “criptoendolíticos” han sobrevivido cerca de ¡año y medio! en la superficie ex-



La bacteria *Deinococcus radiodurans* en una placa de laboratorio y vista por el microscopio (derecha).



terna de la Estación Espacial Internacional. En otro estudio, las especies *Anabaena cylindrica*, *Chroococcidiopsis* y *Nostoc commune* fueron expuestas a radiación UV (superior a 110 o 200 nm) durante 548 días orbitando alrededor de la Tierra. Las dos primeras sobrevivieron, pero la *N. commune* no pudo con tanto.

La habilidad de los organismos radiorresistentes para sobrevivir en estas condiciones extremas parece ligada a la existencia de mecanismos para reparar el ADN y a que sean capaces de producir productos metabólicos protectores. En la actualidad, la ciencia trata de saber si los compuestos con respuesta a la radiación —metabolitos, pigmentos y enzimas [extremolitos y extremoenzimas]— que estos microorganismos producen pueden ser inducidos o activados mediante las modernas técnicas de biotecnología para sintetizar medicamentos, antibióticos y productos para agricultura o para la limpieza de vertidos tóxicos por biorremediación. ▶

se: el exceso de energía agita los átomos como cubitos de hielo en una coctelera hasta que, literalmente, rompe los enlaces químicos.

Bajo el mar, la evaporación de agua no es obviamente un problema, aunque sí podría serlo el hecho de que en los respiraderos hidrotermales de las profundidades del océano, el agua aumenta su temperatura por el calor del interior de la Tierra pudiendo alcanzar

los 400 °C, es decir, el agua hierve. Vigorosamente. Lo que no parece ser ningún problema para los microbios *Pyrococcus furiosus* y *Pyrolobus fumarii*, este último hallado en una chimenea hidrotermal de la Dorsal Atlántica a temperaturas por encima de los 113 °C.

La temperatura más alta registrada a la que la vida ha sido capaz de crecer es 121 °C. El récord los ostenta un microbio llamado simplemente *Strain 121*

que normalmente vive en un auténtico infierno submarino alrededor de los 100 °C en las profundidades del Estrecho de Puget, un entrante del océano Pacífico en la costa noroccidental del estado de Washington, Estados Unidos. Aquí, el agua hirviente surge de respiraderos bajo el agua, llamados “fumarolas negras”, que se elevan el equivalente a un edificio de cuatro plantas; no hay luz, la presión del agua podría aplastar a cualquier ser vi-

viente en tierra y el agua está cargada de compuestos químicos tóxicos.

Su dieta también resulta curiosa, no utiliza ni oxígeno ni sulfuro para respirar y conseguir energía, sino el jugosísimo hierro. Ya en tierra, *Strain 121* tampoco se inmutó cuando sus descubridores le calentaron hasta los 121 °C en el laboratorio de microbiología de la Universidad de Massachusetts en Amherst, Estados Unidos. Incluso, los directores del estudio, los científicos Derek Lovley y Kazem Kashefi, comprobaron que la bacteria seguía viva a los 130 °C pero no consiguió reproducirse hasta que bajaba la temperatura. Un auténtico habitante de los infiernos.

La razón de esta increíble resistencia a la temperatura se encuentra en que los organismos termófilos organizan de una forma supercompacta su ADN y principales proteínas, de manera que puede soportar más calor sin desestructurarse. Aun así, a temperaturas superiores a los 100 °C ciertos metabolitos esenciales, tales como el ATP, la molécula de la energía, se descomponen en segundos. Por lo tanto, el límite superior de temperatura para la vida se establece por la rapidez con que una célula pueda reemplazar estos productos químicos.

En tierra, el animal que mejor hace frente a las altas temperaturas es un habitante del desierto: la hormiga plata subsahariana, *Cataglyphis bombycina*. Esta puede resistir temperaturas superiores a 53 °C durante unos minutos mientras se alimenta de otros animales que han perecido en el sol del mediodía. ¿Cómo puede hacer tanto esfuerzo a pleno sol? Al parecer, las hormigas almacenan proteínas para afrontar el choque térmico antes de atreverse a abandonar el nido. Una vez en el exterior, tienden a subirse a lo que encuentren para refrescarse con la brisa, ya se trate de plantas o de los científicos que están allí sudando la gota gorda para observarlas.



GEORGIA TECH-GARY MEEK

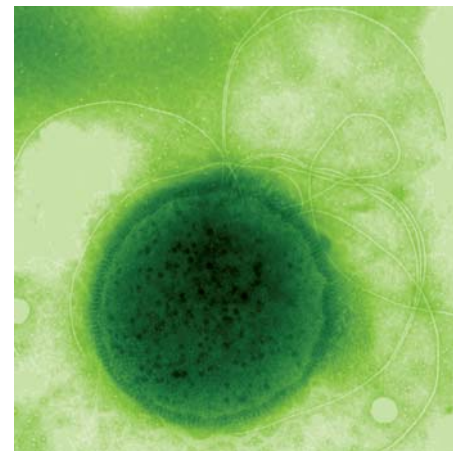
Analizando las muestras de seres vivos hallados en la alta troposfera.

### Vida en las nubes

Recientemente, a bordo de un *jet* DC-8, un equipo de investigadores de la NASA y del Georgia Institute of Technology, en Atlanta, Estados Unidos, tomaron muestras de aire a una altitud de entre ocho y doce kilómetros sobre las aguas del Mar Caribe y el océano Atlántico. Para ello tuvieron que inventar un sistema de filtros en los que se depositan las partículas que flotan suspendidas en el aire que entra dentro del aparato. Pero no solo han encontrado materia inerte. Al parecer, la atmósfera, la troposfera concretamente, también puede ser un buen lugar para la vida.

“No esperábamos encontrar tal cantidad de microorganismos en un ambiente considerado tan difícil para la vida”, explica Kosta Kostantinidis, uno de los científicos que han participado en el estudio. “Parece ser que existe una gran diversidad de especies viviendo en la atmósfera pero no todas las bacterias consiguen sobrevivir en las partes altas de la troposfera”. Los investigadores aplicaron técnicas de ingeniería genética a las mues-

ANGELS TAPIAS



La arquea *Thermococcus gammatolerans* es el organismo más resistente a la radiación.

tras recogidas en los filtros y encontraron la presencia de un significativo número de microorganismos, principalmente bacterias. Existen otros estudios de muestras recogidas en la cima de montañas o en nieve, pero nunca antes se habían tomado muestras biológicas desde un *jet*. El equipo tuvo que diseñar desde cero los experimentos, además de perfeccionar mucho la técnica de extracción de ADN, ya que se trataba de analizar materia orgánica en cantidades muy inferior-

I.F.B.



I.F.B.



En el parque nacional de Yellowstone (EE UU) se descubrieron los primeros organismos extremófilos, que son los causantes de los sorprendentes colores que muestra.

res a las que normalmente se trabajan en muestras tomadas en tierra o agua.

La duda es la siguiente: o bien estos organismos viven habitualmente a estas alturas —los investigadores plantean la posibilidad de que se alojen en los compuestos de carbono que flotan en la atmósfera— o simplemente han

ascendido desde la superficie terrestre o marítima arrastrados por los vientos. “Quizás, simplemente, para estos microorganismos la vida en la atmósfera no sea tan dura. No me extrañaría que existiera vida activa, que esté creciendo y reproduciéndose en las nubes, pero es algo de lo que todavía no

podemos estar seguros por ahora”, añade Konstantinidis.

La importancia radica en que estos habitantes podrían servir como asideros a los que se agarraría la humedad del aire que, a altitudes tan frías, forma incipientes cristales de hielo, lo que a su vez podría tener consecuencias para el clima. “En ausencia de polvo o de otros materiales que actúen como núcleos para la formación de hielo, el disponer de poblaciones de estos microorganismos podría facilitar su formación. Si son del tamaño adecuado, entonces podrían afectar a las nubes de los alrededores”, explica Athanasios Nenes, profesor en el Instituto de Ciencias Atmosféricas del Georgia Tech.

“De momento hemos demostrado que nuestra técnica funciona y, a partir de ahí, podremos extraer mucha información interesante. Una gran fracción de las partículas atmosféricas que tradicionalmente pensamos que corresponden a polvo o sal marina puede que sean en realidad bacterias. En este momento solo estamos estudiando qué hay allá arriba, es solo el principio de lo que esperamos poder hacer”, concluye Nenes.

### Conan, la bacteria

Para Michael Daly, miembro del Departamento de Energía del Gobierno de EE UU, la extraña criatura *Deinococcus radiodurans* (*D. rad*) podría ser el perfecto compañero de los astronautas que viajan al espacio en sus largas misiones. Se trata de una bacteria que perfectamente podría vivir en otro planeta: puede soportar altísimas temperaturas, deshidratación, largas exposiciones a productos químicos muy tóxicos y, sobre todo, aguanta niveles extremos de radiación. No en vano, su nombre oficial significa, literalmente, “extraña baya que soporta la radiación”.

Mientras que una dosis de 10 Gy (el gray, Gy, mide la dosis absorbida de ra-

## Los inmortales

Mientras William Shakespeare escribía Hamlet, en Europa se libraba la Guerra de los Treinta Años y Cervantes remataba su "Don Quijote", la almeja Ming era solo una chavala. Por razones que no se entienden bien, los seres vivos del mundo animal rara vez llegan a cumplir los cien años. Pero como siempre, hay excepciones. El animal vivo más antiguo descubierto hasta ahora es una almeja de la especie *Arctica islandica*. De acuerdo con algunas estimaciones, esta extraña criatura, que con sentido del humor ha sido llamada Ming, tiene alrededor de 400 años.



Un ejemplar de *Arctica islandica*, la especie de la almeja Ming, el animal más longevo conocido.

Ming fue encontrada hace unos años por un equipo de científicos de la Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad de Bangor, en Gales, en las frías aguas de la costa norte de Islandia, dentro del proyecto europeo *Millennium*, que investiga los cambios climáticos ocurridos durante los últimos mil años. Hasta ese momento, el récord de longevidad lo ostentaba otra almeja de Islandia que vivió durante 374 años, y según el libro Guinness, otra almeja descubiertas en aguas americanas vivió durante 220.

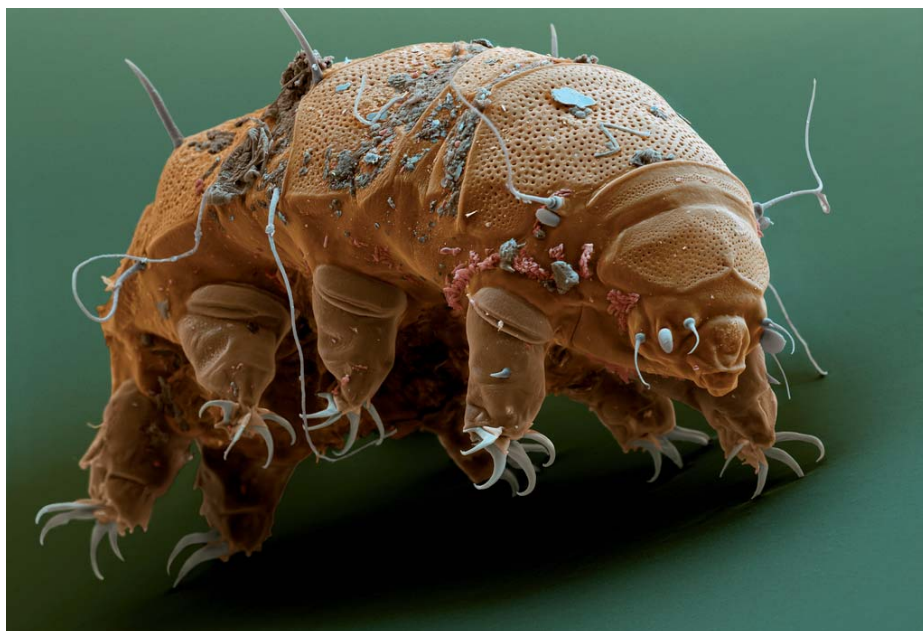
Los científicos intentan entender cómo esta especie logra sobrevivir durante tantos años, con el objetivo de comprender el proceso de envejecimiento en otras especies. Una de las teorías es que haya desarrollado sistemas de defensa excepcionalmente eficaces contra los procesos degenerativos asociados a la edad. Como en el caso de los anillos de los troncos de los árboles, las almejas se estudian analizando las líneas que se forman en sus conchas. Otros animales famosos por su longevidad curiosamente también habitan los océanos, como es el caso de las tortugas marinas, algunas de las cuales pueden alcanzar los 180 años de edad, o el erizo de color rojo, que se estima puede llegar a vivir entre 150 y 200 años. ▶

diciaciones ionizantes por un determinado material) es suficiente para matar a un ser humano, y una dosis de 60 Gy puede destruir toda una colonia de la poderosa *Escherichia coli*, la *D. rad*, puede resistir una dosis instantánea de hasta 5.000 Gy. Así, no es de extrañar que ocupe los primeros puestos de la lista de organismos conocidos más resistentes a la radiación.

La superbacteria fue descubierta por casualidad en la década de 1950, cuando un grupo de científicos de la Estación de Agricultura Experimental de Oregón que investigaba técnicas de conservación de alimentos, se topó con una especie casi inmortal. Los investigadores realizaban experimentos para determinar si ciertos alimentos enlatados podían esterilizarse siendo expuestos a altas dosis de radiación gamma cuando se encontraron con que una de las latas de carne que había sido prácticamente abrasada se había estropeado de todas formas. Intrigados, los investigadores analizaron la carne podrida y consiguieron aislar la bacteria.

Desde entonces, *D. rad* ha sido estudiada minuciosamente. Se cree que su sorprendente resistencia a la radiación se debe a que elabora y almacena múltiples copias de su genoma, pero también a su habilidad de reparar su propio material genético, generalmente en el tiempo que los humanos disponemos para descansar de la agotadora semana laboral, 48 horas. Por esta razón, la *D. rad* ha recibido el cariñoso apodo de *Conan the Bacterium*, inspirándose en el personaje de la película Conan el Bárbaro.

En la actualidad, la NASA está muy interesada en esta especie, pues podría ser adaptada para ayudar a los astronautas a sobrevivir en otros mundos. "El mapa de su genoma podría ayudar a que aumentaran sus extensas habilidades para la supervivencia incorporando a la bacteria capacidades nuevas como la de producir



Los tardígrados son los animales más resistentes a condiciones extremas. Abajo, las aguas del Río Tinto (España), son el hábitat de más de mil especies de extremófilos.

medicinas, agua limpia u oxígeno. De hecho, ya ha sido modificada por técnicas de ingeniería genética para la limpieza de vertidos de mercurio, extremadamente tóxico para la vida, por técnicas de biorremediación”, escribe Daly para la NASA.

Y así llegamos a las bestias más duras del planeta, las criaturas que son capaces de sobrevivir a todo lo siguiente:

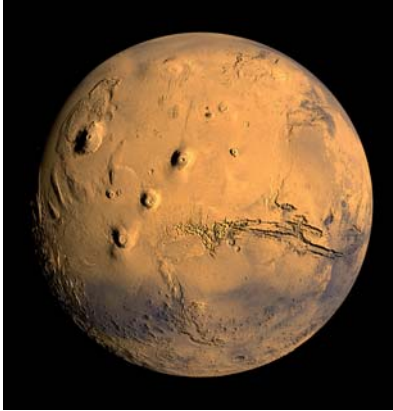
ausencia de agua durante unos 120 años; congelaciones por debajo de los 272 grados bajo cero, o sea, rozando el cero absoluto; calores de 151 °C; el más frío vacío sin oxígeno del espacio...

Los tardígrados son los campeones de la supervivencia en la Tierra. Se trata de pequeñísimos invertebrados —miden de 0,05 a 1,5 milímetros— que se encuentran

en casi todos los ambientes del planeta, desde bellos ríos y lagos de agua dulce a salados hábitats marinos; desde jardines labrados por la mano del hombre a los más altos picos de las montañas. Los científicos calculan que hay más de 1.000 especies de tardígrados en todo el mundo, también conocidos como osos de agua debido a su aspecto y forma de desplazarse: tienen ocho patas pero andan a una velocidad desquiciantemente lenta.

La causa de su férrea tenacidad para sobrevivir se debe a que son capaces de acurrucarse, desconectar su metabolismo y esperar a que mejoren las condiciones. Los tardígrados son unos grandes optimistas. Así, ostentan el récord de supervivencia en distintos, y casi opuestos, tipos de ambientes extremadamente agresivos, aunque es debatible si realmente sobreviven en todos estos mundos inhóspitos puesto que, en realidad, la mayor parte del tiempo permanecen en estado de latencia, una forma extrema de descanso llamada criptobiosis. Como en el caso de la *Deinococcus radiodurans*, al parecer también son capaces de reparar su propio ADN y reducir al máximo su contenido en agua.

El pasado año, los tardígrados consiguieron la cuadratura del círculo. En una expedición de la NASA, los osos de agua fueron colocados en el exterior del transbordador Endeavour. La nave salió al espacio, orbitó la Tierra durante unos días y regresó al planeta. Los tardígrados seguían vivos, lo que sin duda alguna puede ayudar a los científicos a desarrollar técnicas para proteger a otros organismos, incluidos los seres humanos, de los ambientes extremos que soportan en el espacio. Y también puede servir para entender más la vida, que con una irreductible tenacidad y una obstinada determinación por sobrevivir, se adapta, evoluciona y mejora para que cada vez disponga de más armas en su férreo y largo pulso con la muerte. ©



› Natalia Ruiz Zelmanovich,  
técnica de comunicación del  
Centro de Astrobiología

El vehículo automático 'Curiosity' explora desde el pasado agosto las condiciones de habitabilidad de nuestro vecino del sistema solar

## Un robot detective en Marte

Se posó sobre la superficie de Marte en agosto del año 2012 y fue todo un hito. El sistema de aterrizaje de la nave era complejo y necesitaba de una exquisita precisión. Cuando por fin, tras un viaje de más de ocho meses, llegó la anhelada información, todos respiraron aliviados: Curiosity, un laboratorio científico de la NASA destinado a recorrer el cráter Gale, estaba sobre Marte y funcionaba correctamente. Empezaba entonces una aventura que no tiene como meta encontrar vida, sino saber si Marte reúne, o reunió alguna vez, las condiciones adecuadas para estar habitado. España ha contribuido a la misión con varios de los instrumentos que lleva a bordo.

**H**abitabilidad es un término que se utiliza mucho cuando hablamos de nuevos planetas descubiertos fuera del Sistema Solar. Por supuesto, se trata de estimaciones antropocéntricas: buscamos que el exoplaneta cumpla con determinados parámetros, similares a los que se dan en la Tierra, para deducir si es posible que albergue vida tal y como la conocemos. A grandes rasgos, buscamos que sea rocoso (no gaseoso); que esté a una distancia determinada de su estrella (lo cual condicionará la existencia de agua); y que tenga atmósfera para protegerse de las radiaciones. Por supuesto, hay más factores, pero estos son los que, en principio, determinan que los incluyamos en esa lista de planetas potencialmente habitables.

La existencia de vida está condicionada por una serie de factores que se cree están en el origen del concepto tal y como lo conocemos: un entorno como el agua, en el que puedan tener lugar las reacciones químicas; una fuente de energía, como pueden ser la radiación ultravioleta proveniente del Sol o las descargas eléctricas; y la existencia de un elemento que forme compuestos con facilidad, como el carbono.

Tenemos, pues, dos conceptos bien diferenciados. Por un lado, la existencia

de vida y, por otro, la habitabilidad, es decir, las condiciones adecuadas para albergar esa vida. Debemos recordar que aún no sabemos con certeza cuál fue el proceso que dio lugar a la vida en nuestro planeta. Del estudio de las diversas teorías que se postulan se encarga la astrobiología, un compendio de disciplinas científicas que busca respuestas sobre el origen y evolución de la vida. Hasta ahora, el único *laboratorio* en el que podíamos estudiar este fenómeno era la Tierra, y los investigadores se han llevado muchas sorpresas, como el descubrimiento de que había organismos, denominados extremófilos, que viven en condiciones que se consideraban imposibles para su supervivencia y desarrollo, ya que habían evolucionado adaptándose a condiciones extremas de radiación, temperatura, presión, acidez, etc. Una vez establecido que la vida es capaz de progresar en entornos hostiles, ¿por qué no pensar que puede o pudo estar presente en lugares con ambientes como el de Marte?

Sabemos que el planeta rojo probablemente tuvo condiciones energéticas favorables, ya que contiene restos de antiguos volcanes y cuenta con radiación ultravioleta procedente del Sol; también posee elementos químicos que podrían haber reac-



Técnicos de la misión MSL [Mars Science Laboratory] de la NASA celebrando el momento en que se confirmó el correcto aterrizaje del vehículo Curiosity sobre la superficie de Marte.



Este autorretrato combina numerosas exposiciones captadas con el instrumento MAHLI. Se ha eliminado del mosaico el brazo robótico en el que estaba instalada la cámara.

cionado; y, al parecer tuvo agua líquida, ya que se han identificado, por rasgos geológicos, trazas de antiguos ríos y lagos. Por tanto, cumpliría con las condiciones iniciales para el desarrollo de vida. Además, se encuentra en el borde mismo de lo que,

en el Sistema Solar, hemos establecido como zona de habitabilidad, determinada por la posible existencia de agua en todas sus formas: sólida, gaseosa y líquida.

Hasta ahora, en Marte se ha encontrado agua helada y vapor de agua, pero

no agua líquida. El satélite *Mars Reconnaissance Orbiter* (MRO) de la NASA ha observado fenómenos que hacen pensar que el agua pasa directamente de estado sólido a gaseoso, lo que se denomina sublimación. Y también parece que llega a formar ríos de salmuera —agua con alto contenido en sales— que formaría canales de aspecto gelatinoso en determinadas condiciones ambientales. Por tanto, si aceptamos la posible existencia de agua líquida en algún momento de su historia (o incluso la existencia de agua líquida bajo la superficie de hielo) ya tendríamos agua en todas sus formas.

Sin embargo, hay un inconveniente: su atmósfera es casi inexistente. Esta es muy tenue y está compuesta principalmente por dióxido de carbono (un 95%). Tampoco se ha detectado un campo magnético similar al de la Tierra. Sin atmósfera y sin campo magnético, su superficie está expuesta a todo tipo de radiaciones, lo que hace que haya sufrido, en cierto modo, una especie de esterilización.

Para intentar acceder a zonas de Marte que hubieran podido conservar fósiles o, incluso, vida microbiana, los investigadores eligieron el cráter Gale como zona de estudio del *Mars Science Laboratory* (MSL), un conjunto de diez instrumentos instalados en el vehículo *Curiosity*. Este cráter, de unos 150 kilómetros de diámetro y cinco de altura, es, probablemente, una estructura creada por el impacto de un meteorito, lo que lo convierte en un lugar muy interesante para el estudio geológico, ya que la colisión dejó al descubierto antiguas capas del subsuelo marciano. Además, las arcillas y sulfatos que forman su parte superior tienen la capacidad de preservar posibles restos orgánicos. En concreto, los filosilicatos son un tipo de mineral blando que se caracteriza por estar compuesto de numerosas capas y que sería el entor-



## Un planeta esterilizado

La tenue atmósfera de Marte poco puede hacer para protegerlo de las radiaciones. De entre las procedentes del Sol, la más peligrosa para el ser humano es la ultravioleta (UV), ya que la de tipo UV-C puede provocar mutaciones en los enlaces del ADN. Los rayos gamma, las ondas más cortas del espectro electromagnético, son otro tipo de radiación nociva que puede producir alteraciones genéticas y celulares en los seres vivos. En la Tierra ninguna de ellas llega hasta nosotros ya que, en el caso de los UV, el ozono y el oxígeno de nuestra atmósfera los absorben, mientras que los rayos

gamma se frenan en las capas más altas de nuestra envoltura gaseosa. Lo mismo ocurre con la radiación infrarroja, que es parcialmente reflejada hacia el exterior, protegiendo así el equilibrio en la temperatura de la Tierra. En Marte, su débil atmósfera no es capaz de evitar que las radiaciones ionizantes lleguen a la superficie y eso explica, en parte, su aparente esterilidad actual.

Pero el Sol no es el único emisor de radiaciones. Los rayos gamma también pueden provenir de grandes estallidos generados en otros lugares del universo. Y no podemos olvidar la radiación cósmica, compuesta por partículas subatómicas cuyo origen aún no está muy claro. El Sol emite parte de esta radiación en pequeñas proporciones, en fenómenos como las llamaradas solares. Pero los

no perfecto para conservar algún tipo de fósil.

*Curiosity*, una obra de arte de la ingeniería, no está equipada, por tanto, para detectar procesos activos generados por posibles metabolismos biológicos, sino que es la primera misión científica de la NASA cuya meta es determinar si Marte fue o es habitable, saber si se dieron las condiciones necesarias para albergar vida microbiana.

### Resultados científicos

Hay que tener en cuenta las dificultades que entraña diseñar en la Tierra un conjunto de aparatos sensibles y complejos que van a trabajar en condiciones totalmente distintas a las que se dan en nuestro planeta. A su tenue atmósfera hay que sumar el hecho de que Marte tiene tan solo un 38% de la gravedad terrestre y cuenta con un amplio rango de variabilidad en la temperatura: a lo largo del año, y dependiendo

de las zonas, ésta oscila entre los 27 °C y los -128 °C, con una temperatura media en la superficie de -53 °C. Además, sufre constantes tormentas de polvo, locales o globales, con ráfagas de viento que pueden alcanzar los 40 m/s: los *dust devils* son unos veloces remolinos, similares a pequeños tornados, que asolan la superficie.

Con estas restricciones, resulta sorprendente que el equipo de *Curiosity* haya conseguido ajustar al máximo el espacio para incorporar, en un vehículo del tamaño de un coche pequeño, con unos 900 kilogramos de peso, dos computadoras, diez instrumentos científicos, herramientas para adquirir muestras y un sistema de comunicaciones con la Tierra en el que ha participado España a través de las empresas Astrium-CASA y SENER, que construyeron la antena de alta ganancia que utiliza *Curiosity* para el envío de datos. Por último, como en muchos satélites e instrumentos de ex-

ploración espacial, *Curiosity* incorpora un generador termoeléctrico de radioisótopos (RTG, por sus siglas en inglés) que obtiene electricidad gracias a la energía liberada por la desintegración radiactiva de determinados elementos.

Los instrumentos científicos del *Curiosity* se dividen en cuatro categorías: los sensores remotos, Mastcam y ChemCam, situados en la cabeza del mástil; los instrumentos que hacen *ciencia de contacto*, APXS y MAHLI, ubicados al final del brazo robótico; los instrumentos de laboratorio analítico CheMin y SAM, situados dentro del cuerpo del vehículo; y los instrumentos para medir parámetros ambientales DAN, MARDI, REMS y RAD.

De todos estos instrumentos, la cámara protagonista el día del aterrizaje de *Curiosity* en Marte fue MARDI, diseñada para captar imágenes de alta resolución en color durante el descenso y aterrizaje para proporcionar informa-



de mayor energía provienen del espacio exterior y se desplazan a velocidades cercanas a la de la luz. De nuevo, la atmósfera entra en juego y dispersa esta radiación, al tiempo que el campo magnético de la Tierra la desvía.

Como no podía ser de otra manera, *Curiosity* estudia todo este tipo de radiaciones. En concreto, el instrumento RAD investiga cómo influyen en la composición química e isotópica de las rocas y los suelos, y evalúa el peligro que estas radiaciones suponen para la vida microbiana, pasada y presente, que pudiera hallarse sobre o bajo la superficie marciana.

Sin embargo, su misión más destacada es la de caracterizar estas radiaciones con el fin de preparar una posible exploración

Mosaico de imágenes del monte Sharp, con balance de blancos para que tenga un aspecto más terrestre.

humana del planeta Marte en el futuro. RAD mide e identifica todas las radiaciones energéticas que llegan a la superficie marciana y también capta la radiación secundaria producida por la interacción de la radiación con el suelo, la superficie rocosa y la escasa atmósfera marciana. Con estas medidas se podrá calcular la dosis de exposición a la que se someterían los humanos en la superficie de Marte, abriendo las puertas a una exploración que, en la línea del Asimov más futurista, podría ser el primer paso para iniciar una colonización que pondría al ser humano más allá de su hogar, más allá de la Tierra.

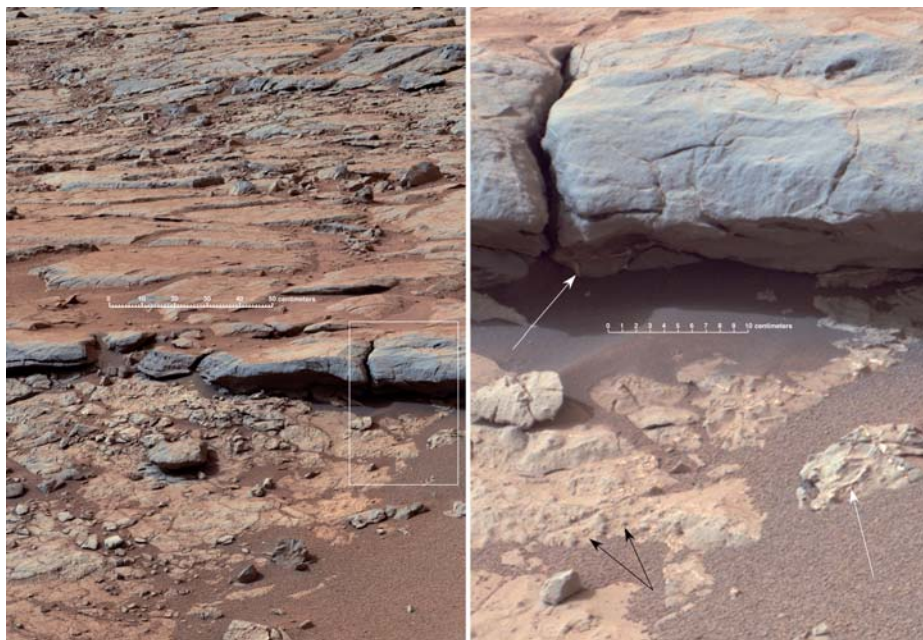


Imagen obtenida por MastCam donde se aprecia una zona del cráter Gale bautizada con el nombre de Bahía Yellowknife. Tomada durante el día marciano número 137 (24 de diciembre de 2012) muestra evidencias de un antiguo entorno favorable para la vida microbiana. En la ampliación, a la derecha, se ven vetas (señaladas con las flechas blancas) y pequeñas concentraciones esféricas de mineral (flechas negras), lo que indica precipitación de minerales a partir de agua.

ción sobre el contexto geológico del entorno. Su misión era determinar con precisión el lugar de aterrizaje, aunque posteriormente estas imágenes han ayudado también a tomar decisiones sobre el siguiente punto de interés hacia el que dirigir el vehículo, ya que ha proporcionado una visión general de la zona. Una vez sobre la superficie, *Curiosity* analiza el entorno ambiental marciano, para lo cual tiene a su alcance la atmósfera, el suelo sobre el que circula y el subsuelo de las zonas en las que taladra. Y es que para saber cuáles han sido las condiciones de Marte a lo largo de su historia, es fundamental estudiar sus minerales, ya que su proceso de formación nos habla de las condiciones del entorno, nos abre una puerta al momento en que se crearon.

La primera muestra de suelo marciano analizada proporcionó interesante información sobre su pasado volcánico. Tras taladrar una roca y lanzar un haz de

## El equipamiento del Curiosity

El sistema **Mastcam** está compuesto por dos cámaras con distinta distancia focal (desde unos pocos centímetros hasta varios kilómetros) y diferentes filtros para tomar imágenes de gran precisión y vídeos de alta definición. Ambas cámaras toman imágenes panorámicas en color, imágenes multiespectro y, juntas, pueden hacer observaciones estereoscópicas con el fin de observar la fisiografía del paisaje marciano en 3D, examinar las propiedades de las rocas y ayudar a estudiar procesos meteorológicos como nubes, polvo, cristales de hielo o fenómenos generados por el viento.

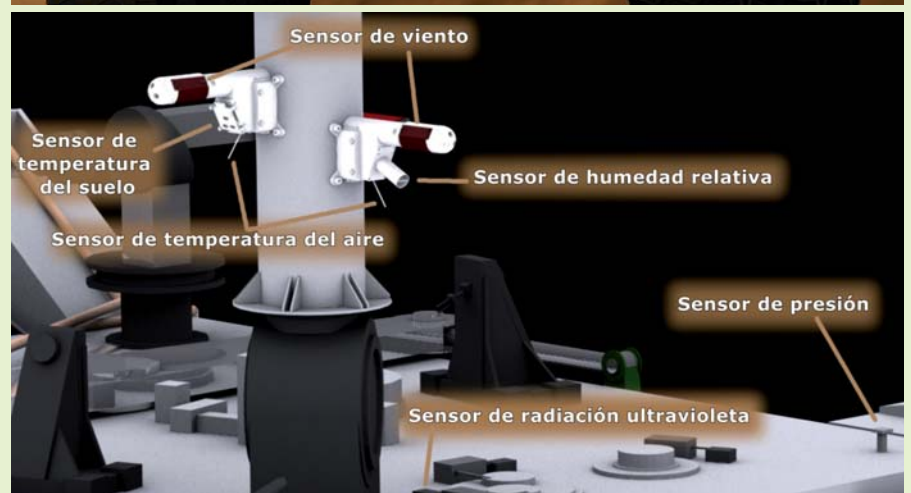
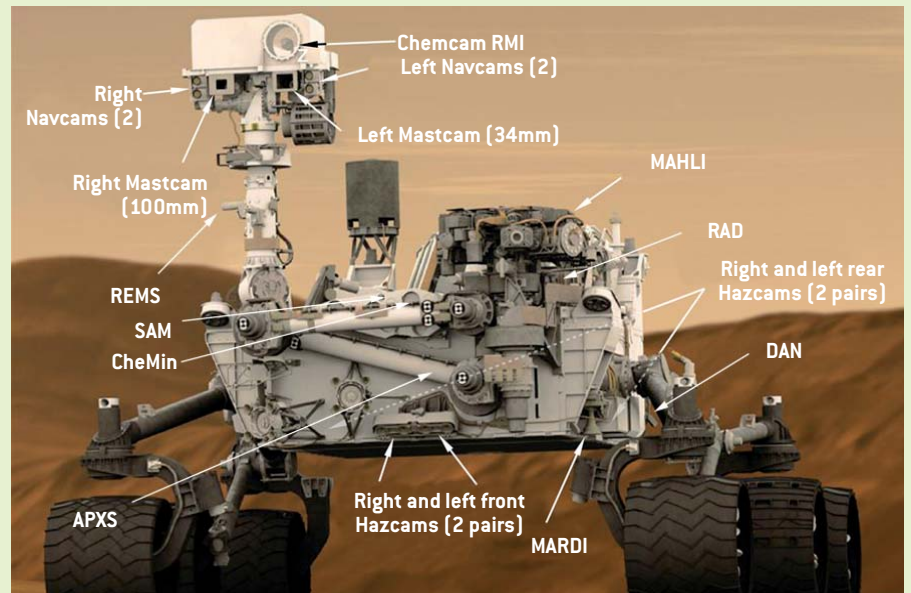
El espectrómetro **ChemCam (Chemistry Camera)** descompone la luz en sus diferentes longitudes de onda o “colores” para analizar las rocas. Lo hace lanzando un impulso láser que vaporiza pequeñas zonas de la roca (menos de un milímetro) y ofrece información muy detallada sobre los minerales y las microestructuras de la roca estudiada. Además, su láser se utiliza para limpiar algunas zonas de estudio. Puede analizar objetos a una distancia máxima de siete metros.

El instrumento **APXS (Alpha-Particle-X-ray Spectrometer)** estudia la composición química básica de rocas y suelo. Para ello, utiliza una pequeña fuente de partículas alfa que son lanzadas hacia el objeto de estudio y, al rebotar, son recogidas por un detector junto con los rayos X generados durante la operación. Así se pueden determinar las cantidades de cada elemento presentes en las rocas y en el suelo sobre el que circula *Curiosity*, lo que permite obtener información sobre la formación de la corteza de Marte y su erosión. Gracias a APXS se ha determinado de qué están hechas las rocas de *Yellowknife Bay*, muy ricas en vetas con gran cantidad de azufre y calcio.

**MAHLI (MArS HandLens Imager)** es un microscopio que obtiene imágenes de rocas, suelo, hielo y escarcha. Entre sus resultados se encuentra la imagen de Tintina, una roca que se rompió al pasar el vehículo sobre ella y que nos muestra interesantes texturas lineales sobre el material blanco brillante. Esta roca de 3x4 centímetros nos cuenta la

historia de los minerales que la componen y de su hidratación, consistente con el posible “pasado acuoso” de Marte.

**CheMin (Chemistry and Mineralogy)** cuantifica las abundancias de ciertos minerales y estudia las estructuras de las rocas con rayos X. Lo hace taladrándolas, recogiendo



Arriba, gráfico con la ubicación de los instrumentos del vehículo *Curiosity*. El mástil cuenta con siete cámaras: la Remote Micro Imager; cuatro cámaras de navegación en blanco y negro (dos a la derecha y dos a la izquierda); y dos cámaras a color (Mastcams). Abajo, detalle de REMS, el primer instrumento español que se posa sobre Marte, en un proyecto liderado por el Centro de Astrobiología (CSIC-INTA).

NASA/JPL-CALTECH

DAVID CABEZAS

el polvo resultante, tamizándolo y depositándolo en un recipiente de muestras con una pequeña pala. Luego lanza un fino haz de rayos X que, al interactuar con la muestra, son absorbidos por los átomos de la misma, mostrando un patrón determinado para cada elemento, identificando así la estructura cristalina de minerales de la familia del olivino o el piroxeno, elementos básicos del basalto que se forman cuando la lava se solidifica. También estudia otros minerales como la magnetita, la hematita o la goethita.

**SAM (Sample Analysis at Mars)** es todo un laboratorio químico miniaturizado. Tiene el tamaño de un microondas y cuenta con tres instrumentos para analizar gases obtenidos tanto de la atmósfera como de los regolitos, los restos sueltos sobre la superficie que no forman parte del suelo propiamente dicho. Puede calentar las muestras o tratarlas químicamente para buscar y caracterizar moléculas, tanto orgánicas como inorgánicas, siendo capaz de detectar un amplio rango de componentes biológicos y analizar isótopos orgánicos estables.

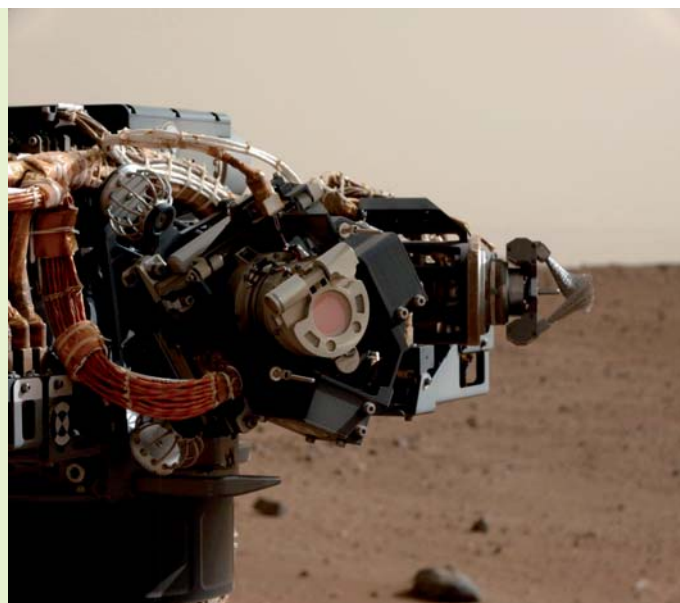
**DAN (Dynamic Albedo of Neutrons)** es un espectrómetro de neutrones que ya ha obtenido datos que revelan variaciones en la cantidad y la profundidad del agua detectada bajo el vehículo a lo largo de su trayecto. Lo que hace es medir, en capas poco profundas (un metro) la abundancia y la distribución de pequeñas cantidades de agua encapsulada en las estructuras cristalinas de minerales hidratados.

**MARDI (MARs Descent Imager)** es una cámara diseñada para captar imágenes de alta resolución en color durante el descenso y

aterrizaje y para proporcionar información sobre el contexto geológico del entorno. Su misión era determinar con precisión el lugar de aterrizaje, aunque posteriormente estas imágenes han ayudado también a tomar decisiones sobre el siguiente punto de interés hacia el que dirigir el vehículo, ya que ha proporcionado una visión general de la zona.

**REMS (Rover Environmental Monitoring Station)** es un instrumento español cuya construcción ha liderado el Centro de Astrobiología (CSIC-INTA) y que ha sido construido en colaboración con la empresa Crisa (EADS Astrium), la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) y la Universidad de Alcalá de Henares (UAH), además de diversas instituciones norteamericanas y el Instituto Meteorológico Finlandés (FMI). Es la primera vez que un vehículo en Marte cuenta con una estación ambiental y su misión es caracterizar la atmósfera marciana analizando las condiciones del entorno. Para ello, mide la humedad, la dirección y velocidad del viento, las temperaturas del suelo y de la atmósfera, la presión atmosférica y la radiación ultravioleta.

**RAD (Radiation Assessment Detector)** es un sensor que investiga cómo influyen las radiaciones en la composición química e isotópica de las rocas y los suelos. También evalúa el peligro que estas radiaciones suponen para la vida microbiana, pasada y presente, que pudiera hallarse sobre o bajo la superficie marciana.



Una de las cámaras MastCam en el mástil fotografía a MAHLI, instalada en el brazo del vehículo. Al fondo, el paisaje marciano.

rayos X tan fino como un cabello humano, se cuantificó la abundancia de determinados minerales y se estudiaron sus estructuras. Este análisis, realizado por CheMin, reveló que los minerales del suelo de la zona son muy parecidos a los suelos basálticos de la isla de Hawai, desvelándonos un pasado agitado por el fuego y la posterior erosión de lo que parece ser cristal de origen volcánico.

Esta primera muestra fue obtenida como parte del programa de trabajo. Pero en otros casos se ha aprovechado la casualidad, como cuando al pasar el *Curiosity* sobre una roca esta se rompió y el microscopio MAHLI pudo estudiarla en profundidad. Esta accidentada piedra, denominada Tintina, muestra interesantes texturas lineales sobre un material blanco brillante, desvelando qué minerales la componen y confirmando su hidratación, lo cual encaja con la teoría de un posible pasado acuoso en Marte.

A medida que el vehículo se mueve, aprovecha para estudiar el suelo sobre el que avanza. En este proceso ha medido, en capas poco profundas (de alrededor de un metro) la abundancia y la distribución

de pequeñas cantidades de hidrógeno en la tierra que hay bajo el *rover*, fundamentalmente encapsulada en moléculas de agua atrapadas en las estructuras cristalinas de algunos minerales hidratados. Esto es posible gracias al espectrómetro de neutrones DAN, que ya ha obtenido datos que revelan variaciones en la cantidad y la profundidad del agua detectada a lo largo del trayecto del vehículo, y esto se explica por un posible intercambio de moléculas de agua entre el suelo y la atmósfera.

Una de las confirmaciones más firmes de la posible existencia de agua en el pasado de Marte se ha hecho en una zona del cráter Gale bautizada con el nombre de *Yellowknife Bay*. Utilizando partículas alfa y rayos X, APXS ha ayudado a determinar de qué están hechas estas rocas ricas en vetas con abundantes cantidades de azufre y calcio. Para tener información complementaria se utilizó la capacidad de Mastcam para observar en el infrarrojo cercano. Estos análisis, que podrían extrapolarse a zonas que están más allá del lugar taladrado, confirman que estas anchas vetas contienen minerales hidratados muy diferentes de los minerales de otras arcillas estudiados por *Curiosity*. Esto es importante porque hay determinados tipos de arcilla que se forman con el magma expulsado por los volcanes, es decir, no se forman con presencia de agua sino con el enfriamiento de gases magmáticos. Hallar estas diferencias permite seguir pensando que Marte albergó agua líquida en algún momento de su historia.

Además de las rocas también se analiza el polvo de la superficie de Marte. Su color rojizo se debe a los óxidos de hierro, y el espectrómetro ChemCam, que

Mosaico panorámico donde se aprecia la zona de Glenelg, una intersección natural donde se dan tres tipos de terreno diferentes.



La roca Tintina fotografiada por Mastcam el 17 de enero de 2013 (día marciano 160). Al pasar sobre ella, la piedra se partió, dejando al descubierto una superficie blanca y brillante. Al estudiarla en el infrarrojo (a la derecha), se vio su composición de minerales hidratados.

descompone la luz en sus diferentes longitudes de onda o “colores”, ha estudiado el polvo distribuido por el viento. Tras lanzar un láser y estudiar los elementos vaporizados, ha revelado una compleja composición química que incluye hidrógeno, el cual podría estar en forma de moléculas de agua.

Estos estudios nos muestran dos panoramas bien diferenciados: las zonas hidratadas, consistentes con un posible pasado acuoso, y las zonas secas, posteriores en el tiempo, que encajan con una época de escasa interacción con el agua. El cráter Gale ha podido conservar información de las dos etapas, con una transición de un entorno húmedo, con agua corriente, a uno seco. Por tanto, los minerales hidratados indican un momento de la historia marciana con condicio-

nes ambientales favorables para la vida microbiana.

Otra importante fuente de información es la atmósfera marciana. *Curiosity* la analiza con instrumentos como SAM, un laboratorio químico en miniatura, del tamaño de un microondas, que analiza gases obtenidos tanto de la atmósfera como de los regolitos, los restos sueltos sobre la superficie que no forman parte del suelo propiamente dicho. Puede calentar las muestras o tratarlas químicamente para buscar y caracterizar moléculas tanto orgánicas como inorgánicas, siendo capaz de detectar un amplio rango de componentes biológicos y analizar isótopos orgánicos estables. SAM ha confirmado que el porcentaje de argón pesado que aún conserva Marte es mucho menor que el porcentaje original presente en otros objetos



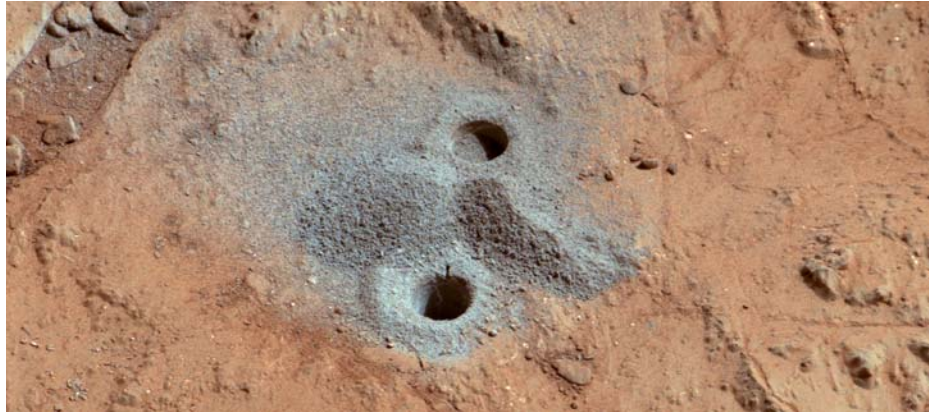
NASA/JPL-CALTECH/MSS



Roca denominada Sutton Inlier y hallada en Yellowknife Bay, en el cráter Gale, de unos 12 centímetros.

del Sistema Solar. Esto hace pensar a los investigadores que es muy probable que la atmósfera original de Marte perdiera los gases que la componían en un proceso de “escape” por la parte superior. Es decir, su atmósfera pudo ser de otro tipo, protegiendo tal vez durante una época a la superficie de las castigadoras radiaciones.

Con el fin de saber más sobre estas radiaciones y sobre otros datos ambientales, fundamentales para conocer las condiciones que se dan en el entorno marciano, *Curiosity* cuenta con REMS, un instrumento español que mide la humedad, la dirección y velocidad del viento, las temperaturas del suelo y de la atmósfera, la presión atmosférica y la radiación ultravioleta. Construido en un proyecto liderado por el Centro de Astrobiología (CSIC-INTA), es la primera vez que un



En esta imagen se aprecian los primeros agujeros taladrados en roca por el vehículo *Curiosity* y los restos generados durante el proceso. Parte del polvo de roca extraído del fondo del agujero fue analizado por los instrumentos del interior del vehículo.

vehículo en Marte cuenta con una estación ambiental y su misión es caracterizar la atmósfera marciana analizando las condiciones del entorno. Según los datos de REMS, el cráter Gale no ha sufrido ningún tornado de arena, pero ha detectado muchos patrones que hacen pensar que hay torbellinos, fenómenos muy rápidos que podrían confirmarse por oscilaciones en el viento, cambios de presión, temperatura y, a veces, por una disminución en la radiación ultravioleta. Además, la temperatura del aire ha ido en aumento de manera constante desde el inicio de la toma de medidas y la humedad difiere de manera significativa en distintos lugares a lo largo del camino del *rover*. Son datos que habrá que ir hilando para establecer qué condiciones se dan en cada área de estudio.

*Curiosity* seguirá enviando información hasta cumplir con sus dos años de trabajo. Ha tenido algún contratiempo relacionado con sus ordenadores y, recientemente, hacía una pausa en sus actividades debido a la conjunción solar, que tiene lugar cada 26 meses, con el fin de evitar posibles interferencias en las comunicaciones. Pero continúa su viaje por el cráter Gale en busca de respuestas. Tal vez, con toda esta información, logremos explicar qué ocurrió en Marte, cuáles fueron los fenómenos que llevaron a un planeta húmedo y con presencia de agua a alterar tanto su atmósfera como sus condiciones de habitabilidad hasta extremos como los que conocemos hoy. Y, sin duda, conoceremos más sobre qué zonas ofrecieron alguna vez condiciones favorables para la vida microbiana. ©



NASA/JPL-CALTECH/MSS/KEN KREMER/MARCO DI LORENZO



› Antonio Calvo Roy,  
periodista científico

TECNOLOGÍA  
NUCLEAR  
ESPAÑOLA  
4

Más de medio siglo de tecnología española al servicio del sector nuclear

## Tecnatom: la necesidad y la virtud

Hacer de la necesidad, virtud. Ese podría ser el lema o, al menos, el espíritu fundacional de Tecnatom. Creada en 1957 por el Banco Urquijo, un banco industrial, para asesorarse sobre inversiones en el naciente mundo nuclear, su gran despegue se produjo cuando las empresas eléctricas, con Zorita y Garoña ya en marcha, quisieron una ingeniería independiente y confiable para la formación de sus operadores y para llevar a cabo todo tipo de inspecciones. Sobre estos dos pilares se ha creado una ingeniería que compite internacionalmente en el exigente mundo nuclear y que ya está presente en treinta países.

La industria nuclear, al igual que la industria aeronáutica, está acotada desde siempre a estrictos controles de seguridad. No en vano son las áreas industriales que cuentan desde hace más tiempo con regulación y con organismos internacionales dedicados a dictar normas de obligado cumplimiento en todos los países. Por eso las ingenierías en torno a estos campos han alcanzado un enorme grado de especialización que, en cierta medida, ha resultado también convergente, aunque por diversas razones.

Así, las dos áreas más relevantes de trabajo de Tecnatom son la nuclear, en la que se inició y en la que sigue siendo una empresa puntera en el mundo, y la aeronáutica, como un beneficio colateral de las técnicas aprendidas en el mundo nuclear, aunque representa un porcentaje mucho menor en la actividad de la empresa. “Comenzamos en el mundo nuclear, pero las líneas básicas de nuestra estrategia actual son la diversificación y la internacionalización”, afirma Francisco Javier Guerra Sáiz, director general de Tecnatom desde el año 2011. Para este ingeniero naval que trabaja en la empresa desde 1986, el plan industrial de la compañía está “en consonancia con la industria española en general: seguir aquí pero

mirar cada vez más fuera de nuestras fronteras.”

En la actualidad un 40% de la facturación de Tecnatom viene del exterior, de contratos en algo más de una treintena de países en los que está presente. “La idea para el futuro es dar la vuelta a esas proporciones; es decir, tener en España el 40% del negocio y el resto fuera.” Y eso implica seguir muy presente en la actividad nuclear, pero no olvidar otros campos de actuación.

### Necesidad y virtud

Las empresas eléctricas españolas consideraron, en 1973, que con los planes nucleares que tenía el país iban a necesitar una empresa de ingeniería de confianza y que pudiera atender sus demandas de manera prioritaria. Por eso decidieron entrar en el accionariado de Tecnatom, en el que siguen presentes a fecha de hoy sin que ninguna tenga la mayoría: Endesa es propietaria del 45% de la compañía, Iberdrola del 30, Gas Natural del 15 y el 10% restante es autotartera.

Pero su vocación nuclear era aún anterior. No en vano su nombre, Tecnatom, viene de Técnicas Atómicas. Creado, como se ha dicho, en 1957 por el Banco Urquijo, en 1960 llevó a cabo un proyecto preliminar de central nuclear de 60 MW para Unión Eléctrica Madrileña.



Vista general del simulador de alcance total de Ascó de Tecnomat, en el que se entrenan los operarios de dicha central.

Un año más tarde, la eléctrica madrileña solicitó al Gobierno la construcción de una central de 160 MW en la localidad de Almonacid de Zorita, en la provincia de Guadalajara, proyecto que lideró Tecnomat.

Tras la construcción de Zorita, se convirtió en 1973, dice Javier Guerra, “en la empresa común de servicios de ingeniería, fundamentalmente en las áreas de adiestramiento e inspección de las siete compañías eléctricas con participación en el Programa Nuclear español. Por lo tanto Sevillana de Electricidad, Electra de Viesgo, Fenosa, FECSA, Hidroeléctrica Española, Iberduero y Unión Eléctrica Madrileña, pasaron a ser los propietarios de Tecnomat.”

Después, durante la década de los años 80 la empresa llevó a cabo su desarrollo tecnológico, dotándose de capacidad propia, gracias a la inversión en I+D, y dejando de adquirir tecnologías ajenas. La siguiente década comenzó un pe-

riodo marcado por la diversificación del mercado nuclear internacional y la consolidación de alianzas estratégicas por lo que pasaron a trabajar, dentro del mundo nuclear, en diversos países.

A principios del siglo XXI empezaron a buscar otros mercados en los que pudieran aplicar los conocimientos adquiridos y las tecnologías desarrolladas sobre todo en el campo de la inspección de componentes. Entraron con fuerza en ellos, de manera destacada en el mercado de los diagnósticos estructurales con ultrasonidos, y adquirieron participaciones en otras empresas o, incluso, compraron empresas a través de las cuales implementaron sus conocimientos.

Y para esta segunda década del siglo los planes llevan a una mayor internacionalización del negocio y a una diversificación de las industrias en las que están presentes. “Nuestra plantilla”, dice Javier Guerra, “está bien formada y muy motivada. Buscamos mejorar nuestra eficien-

cia y la de nuestros clientes y, al mismo tiempo, diversificar e internacionalizar aún más.”

Las dos líneas básicas de actuación primigenias, la formación y la inspección, se mantienen, tantos años después, a pleno rendimiento. Así, la formación de operarios sigue siendo uno de sus puntos fuertes y por sus simuladores de salas de control, réplicas exactas de las de las centrales españolas, pasan no solo quienes aspiran a convertirse en operadores sino también todos los que ya están en activo para la formación continuada.

Estos simuladores han sido hechos “con nuestra propia tecnología, prácticamente al 100%”, asegura Javier Guerra. Se trata de réplicas de las salas de control de todos los reactores españoles, de manera que es posible exponer allí a los operadores a cualquier situación a la que podrían tener que enfrentarse pero que, afortunadamente, no tienen la necesidad

## Aviones y ultrasonidos

La inspección de los elementos que componen un avión es una tarea delicada, porque a 10.000 metros de altura en un aparato que transporta 300 personas a casi 1.000 kilómetros por hora no debe fallar nada. Por eso, cada pieza se revisa minuciosamente y los ultrasonidos han resultado ser unos excelentes sistemas para llevar a cabo esta tarea. “Hoy en día”, señala Javier Guerra, “cada vez es mayor la proporción de un avión que está fabricada en fibra de carbono.” Y Tecnatom revisa piezas de todos los fabricantes de aviones del mundo gracias a sus palpadores, los sistemas de adquisición y evaluación de datos de ultrasonidos. Y, además, ha desarrollado tecnología que vende a otros para hacer estas pruebas.

“Hay que tener en cuenta”, continúa Guerra, “que en este campo las exigencias y los requisitos son muy semejantes a las del mundo nuclear. Si a eso le sumamos que es una industria en alza y, por ejemplo, solo EADS tiene una cartera de pedidos en firme para los próximos 10 años, es normal que estemos ahí presen-

tes; conocemos las tecnologías y es un mercado interesante.” Las piezas hechas con fibra de carbono, un material muy resistente y muy ligero que se hace por acumulación de diferentes capas, tienen que ser perfectas si se destinan al mercado aeronáutico. No puede haber burbujas de aire entre las capas y la mejor manera de asegurar su calidad es gracias a estos sistemas de ultrasonidos.

Además, en el mundo aeronáutico Tecnatom lleva a cabo actividades relacionadas con simuladores de instalaciones eléctricas aeroportuarias, prestando además servicios de mantenimiento y actualización de los simuladores e impartiendo diversos cursos. La empresa trabaja también, en este campo, en la actualización de los sistemas de inspección suministrados a diferentes fabricantes de componentes aeroespaciales de material compuesto y en los servicios de mantenimiento de empresas como Airbus, Airbus Military, Astrium, ITP, Aernnova, Alestis, KAI [Corea] y Spirit [EE. UU.]. Y, en Brasil, ha trabajado en la entrega, aceptación y puesta en marcha del sistema de inspección de ultrasonidos suministrado al Grupo Alestis para su instalación en su factoría de Sao José dos Campos. ▶

de enfrentarse en la realidad. “Igual que un piloto debe saber aterrizar un avión con una sola rueda, y saben hacerlo porque lo han aprendido en un simulador y no lo han ensayado con aviones de verdad, con las centrales tampoco se pueden hacer experimentos, así que los simuladores son las herramientas adecuadas”, dice Guerra.

La semejanza incluye todo el entorno de la sala de control, incluso el color de la moqueta, no solo toda la instrumentación. Así, los operadores se encuentran en esta escuela exactamente igual que en la sala de control de su central, consiguiendo que sus respuestas ante situaciones complicadas hayan podido ser ensayadas con las mayores garantías posibles.

### Formando operadores foráneos

Pero, además de formar a los operadores españoles, en estas escuelas de Tecnatom se instruyen también operadores de otros países. “Ahora”, dice Javier Guerra,

“estamos construyendo los simuladores de las salas de control de las centrales de Atucha 2, en Argentina; Laguna Verde, en México; y de Angra, en Brasil. Hasta que estén terminados, los operadores se están formando en España, pero después podrán hacer los cursos allí”. De hecho,

en Brasil se ha creado este mismo año la filial Tecnatom do Brasil.

Esta versatilidad es producto de que la empresa, desde 1991, amplió su cartera de centrales incluyendo, además de las que operaban en España, reactores diversos de General Electric, como el



Los nuevos Glasstop Simulators de Tecnatom son simuladores digitales con tecnología touch.



Robot utilizado para la inspección de componentes aeronáuticos, estudiando la tapa del reactor de un Airbus 380.

SBWR y el ABWR, y el AP600 de Westinghouse. En 1997 incluyó más modelos y, de hecho, en la actualidad es capaz de prestar sus servicios para cualquier tipo de reactor nuclear. Esta capacidad supone que ofrece, para todos estos modelos, servicios de análisis de ingeniería del factor humano, diseño e implantación de la interfaz hombre-máquina, verificación y validación, y planes de emergencia.

Y, producto de su especialización en la formación, para todos estos modelos diseñan y construyen salas de control y simuladores de las salas para el entrenamiento de operadores. Además, desarrollan procedimientos de operación y de emergencia, adiestran al personal de operación y de planta, proveen de servicios de ingeniería y licenciamiento y suministran y califican componentes críticos.

Toda esta apuesta nuclear se basa en el análisis que la empresa ha realizado sobre el estado de la cuestión en el mundo

y así, aunque “en España no es esperable la instalación de nuevo equipamiento nuclear en los próximos años”, dice el director general, “en el mundo se están construyendo en la actualidad unos 60 reactores, la mayoría de ellos en Asia, pero también en otros lugares. Creo que la energía nuclear forma parte del futuro y, además, considero que el mayor problema al que se enfrenta no es de seguridad ni de ingeniería, es financiero y de estabilidad regulatoria en todo el mundo.”

Pero entre las diversificaciones por las que ha transitado la empresa se encuentra la formación de operadores de centrales de producción de electricidad con otras fuentes, desde las de gas hasta las termosolares, pasando por las que utilizan recursos fósiles convencionales, e incluso plantas petroquímicas.

No en vano, en palabra del presidente de la compañía, Antonio Alonso, “nuestra experiencia, y nuestras capaci-

dades tecnológicas en el área nuclear, nos han permitido suministrar servicios de alto valor añadido en otros mercados, como es el caso de las energías renovables, donde estamos consiguiendo una presencia creciente en las centrales de tecnología termosolar, a través de servicios de inspección, de desarrollo de simuladores de alcance total y de elaboración de manuales de operación y mantenimiento.”

Además de las inspecciones en servicio y durante las recargas, para optimizarlas y, al mismo tiempo, garantizar que se llevan a cabo de acuerdo con las normas y protocolos establecidos, la empresa cuenta con un área de trabajo que en términos generales se define como ingeniería e inspección de equipos. Y así como la formación, los simuladores y las salas de control suponen casi un 60% de sus actividades, este otro aspecto, donde se incluyen las actividades en la industria aeronáutica, supone algo más del 40% de la actividad de la compañía.

En el desglose por mercados, el nuclear nacional supuso en el año 2012 el 58%, frente al 32% del nuclear exterior, el 5% de los fósiles y renovables y otro 5% para el mundo aeronáutico. Y de todo ello, un 62% en España y un 38% fuera de nuestras fronteras. Para los próximos años el plan es darle la vuelta a estas cifras.

### Centrales nucleares avanzadas

Y por eso la empresa mira al futuro y participa en programas de nuevos reactores porque “las nuevas centrales nucleares, las llamadas centrales avanzadas, son una apuesta de futuro para nosotros,” asegura Javier Guerra. Primero fue la participación en los primeros diseños de los reactores AP600 y SBWR, de General Electric, posteriormente la presencia en el desarrollo de las dos unidades ABWR de la central de Lungmen, en Taiwán.

## Un grupo en el mundo

Su presencia internacional es cada vez mayor, tanto directamente como a través de sus empresas participadas. Así, Tecnatom participa, con el 100% de las acciones, en la empresa Metalscan, radicada en Chalon sur Saône (Francia), y dedicada a la fabricación de palpadores de ultrasonidos, desarrollo de equipos de inspección y prestación de servicios de control. También en Francia, en París, y con la propiedad del 53,45%, participa en M2M, una empresa dedicada al desarrollo y fabricación de sistemas de ultrasonidos y corrientes inducidas, utilizando las tecnologías más vanguardistas y encaminada sobre todo a inspección de turbinas de vapor y gas, condensadores, cambiadores de calor y tuberías, así como a la industria en general.

En América se encuentra Tecnatom do Brasil, desde donde, además del gran mercado brasileño, se atienden también las necesidades de Argentina. La filial está destinada a “apoyar la implantación de la empresa en los mercados nuclear, térmico y aeronáutico brasileños,” afirma Javier Guerra. El 90% de esta filial pertenece a la empresa matriz.

En China se ha creado Tecnatom China, con oficina en Pekín, de la que poseen el 100% y que está destinada a prestar apoyo a la actividad en el mercado nuclear chino. La presencia en otros países de Asia, a través de la empresa matriz, implica el desarrollo de salas de control, revisión y control de equipos diversos, formación, construcción de simuladores y licenciamiento, además del suministro de equipos de inspección para el mundo aeronáutico.

En España el grupo está formado, además de por la matriz, por Tecnes, destinada a gestionar el centro de apoyo a emergencias; y Sertec, creada, como la anterior, en 2013 y también propiedad al 100%, destinada a la prestación de servicios de alto valor añadido. Por último, y de cara a China, el grupo está presente en otras dos empresas participadas: Citec, junto con la compañía china SNPI, con oficina en Shenzhen y dedicada a la prestación de servicios de inspección en el creciente mercado nuclear chino, y el SNGC, el Spanish Nuclear Group for China.

Pero, además de mediante estas empresas, Tecnatom directamente está presente en Estados Unidos, Canadá, Sudáfrica, una buena parte de los países europeos, Rusia, Japón, Turquía, Corea del Sur y, en definitiva, en todos los lugares en los que hay centrales nucleares o industria aeronáutica, una lista que incluye algo más de una treintena de países. ▶

Aunque ralentizada por las consecuencias del accidente en la central de Fukushima, la apuesta decidida de muchos países para construir nuevas centrales con reactores AP1000 (en China, Estados Unidos y Europa), ABWR (en Estados Unidos y Europa), PHWR (en Argentina), CPR1000 y CNP600 (en China), etc., “abren para Tecnatom un futuro lleno de

actividad”. Por eso, continua Guerra, “estamos presentes en proyectos de las nuevas centrales nucleares, las generaciones 3 y 4, en aspectos de operación y de las salas de control.”

Las nuevas centrales pequeñas, de 300 megavatios, son también una buena oportunidad de negocio, porque “la fabricación modular hace que se man-

tenga la seguridad abaratándose los costes. Es una opción que consideramos muy interesante y en la que queremos estar presentes.”

Y también, mirando al futuro, Tecnatom está presente en el ITER, el proyecto internacional de reactor experimental de fusión nuclear por confinamiento magnético que se construye en Cadarache (Francia), desarrollando estudios de viabilidad, cualificación para la inspección de soldaduras de la vasija del reactor y ensayos no destructivos, las llamadas técnicas END, para la inspección de los anillos de precompresión que tendrá la máquina en la que se producirá, algún día, energía de fusión.

También están presentes en el proyecto IFMIF, el International Fusion Materials Irradiation Facility, en Japón, donde trabajan en el análisis de diseño de telemanipuladores para el mantenimiento de las instalaciones. Y, por último, en el reactor de investigación Jules Horowitz, en Francia, donde colaboran en el diseño del simulador de experimentos, en el de modelos neutrónicos y termohidráulicos, en la construcción del simulador y en su validación.

Para estar presentes en estos exigentes proyectos han tenido que pasar complicadas pruebas que demuestran su capacidad y, sobre todo, la decidida voluntad de invertir en investigación para seguir presentes en este mundo. Por eso una de las exigencias para llevar a cabo esta ambiciosa presencia en proyectos punteros es la inversión en investigación, que ronda el 10 por 100 de las ventas.

Y, sobre todo, para hacerlo posible cuentan con una plantilla en la que trabajan 850 personas, de las cuales un 60% son titulados superiores, la mayoría de ellos ingenieros. “Es una plantilla muy bien formada y muy motivada, en la que está incrustada una cultura constructiva y muy proactiva. Nuestra plantilla es nuestra gran fortaleza.” ©

## REPORTAJE



ARCHENA

En España están registrados cerca de cien establecimientos de aguas mineromedicinales

## Balnearios, salud que emana de la tierra

Poner en valor manantiales de aguas curativas que durante el siglo XX cayeron en desuso, a medida que la salud se dejaba en manos casi exclusivas de la farmacología. Este es el objetivo de las recientes investigaciones que prueban experimentalmente los beneficios para la salud de un recurso de la naturaleza en el que este país es uno de los más ricos del mundo. Afectados por la crisis, muchos balnearios buscan hoy su especialización hidrológica en función de las dolencias que pueden tratar. La tercera edad sigue siendo su público 'estrella', aun sin dejar de lado a la clientela más joven que solo busca relax.

› Rosa Martín Tristán,  
periodista científica

Cuentan los arqueólogos que ya en la lejana prehistoria, hace más de 4.000 años, los habitantes neolíticos de la Península Ibérica supieron aprovechar las ventajas de las aguas calientes que surgían de las profundidades de la Tierra. Más tarde, los romanos no fueron inmunes a su poder a la hora de disfrutar de las *caldas* hispánicas, ni tampoco los árabes, que dejaron el nombre de *alhama* (agua termal) a pueblos distribuidos por todo el territorio, porque allí los baños dejaban como nuevos los huesos y la piel.

España es hoy, aseguran los expertos, uno de los países con más riqueza en aguas mineromedicinales de todo el mundo. Su historia geológica ha dejado impresa en ellas propiedades que continúan proporcionando bienestar al cuerpo y a la mente, aunque como mucho de lo que nos ofrece la naturaleza, no son inocuas: conocer cuáles son las dosis apropiadas es fundamental para que la salud no se resienta, tanto si se trata de los clientes como para quienes trabajan cerca de estos manantiales curativos. Este es el objetivo de la hidrológica médica, una ciencia que ha tenido un espectacular impulso en los últimos años y que está pro-

porcionando datos científicos fiables donde antes solo existía un conocimiento disperso.

Hoy tienen uso público casi un centenar de aguas mineromedicinales, de los 2.000 manantiales registrados en toda la geografía nacional, y se mantiene abierta una red de 116 balnearios a los que poder ir porque, como señalan los expertos, sus efectos solo tienen valor curativo cuando uno se baña en ellas, las ingiere, las inhala, las recibe a



Cartel publicitario de 1925 que destaca la radiactividad del agua de Capuchina.

## Controlar el radón de la aguas

Se trata de una cuestión de especial importancia en casos como el de las aguas radiactivas, que son las que salen a la superficie con gas radón. “El radón se disuelve en las aguas subterráneas de algunos manantiales, sobre todo en lugares con fallas, y su cantidad varía según la profundidad a la que se encuentran. Al salir, se disuelve en el aire. No resulta peligroso para los visitantes pero para los trabajadores de los balnearios puede convertirse en un problema grave, porque ellos respiran radón continuamente, y por esa razón se han aprobado normativas para control de ese riesgo”, apunta Luis Quindós, catedrático de la Universidad de Cantabria, que ha participado en un exhaustivo estudio sobre los límites radiactivos y sus efectos en la biología celular.



Recogiendo muestras en el balneario de Alhama de Aragón.

Quindós asegura que, en su comunidad autónoma, todos los balnearios ya han medido sus niveles de radón y han tomado medidas cuando se ha determinado que era necesario. En los balnearios de La Hermida y en Las Caldas de Besaya, por ejemplo, aumentaron la ventilación en las zonas de trabajo, redujeron los turnos de los empleados en las zonas de exposición e implantaron turnos rotativos. Cambios sencillos para evitar males mayores.

El Instituto Nacional del Cáncer de Estados Unidos asegura en sus informes que los elementos radiactivos descendientes del radón pueden dañar las células que recubren los pulmones, y se considera la segunda causa principal de cáncer de pulmón en ese país, asociándose a más de 20.000 muertes al año. Fueron este tipo de datos los que llevaron a la Unión Europea a aprobar, en 1996, la primera directiva para regular las emisiones, regulación que entró en vigor en España en 2001, pero sin que llegara a aplicarse con efectividad.

En enero del pasado año, el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) publicó en el Boletín Oficial del Estado una Instrucción de Seguridad (la IS-33), que desarrolla el Título VII del Real Decreto 783/2001, en el que se regulan este tipo de exposiciones. Una modificación de dicho Real Decreto, realizada en 2010, trasladó directamente a los titulares de las actividades laborales la obli-

ESCUELA DE HIDROLOGÍA MÉDICA E HIDROTERAPIA

gación de realizar estudios sobre el impacto radiológico del radón en el público y los trabajadores. Aun así, es algo que, de momento, muchas instalaciones no han hecho. “En el año transcurrido desde que entró en vigor la nueva normativa se han recibido en el CSN unos pocos estudios. No obstante, de acuerdo a la IS-33, únicamente están obligados a remitirlos aquellos titulares de las instalaciones que superen los valores de concentración media anual de radón establecidos en dicha Instrucción de Seguridad. Adicionalmente, el CSN cuenta con información de exposición al radón en lugares de trabajo de Cantabria y Extremadura, obtenida mediante acuerdos de colaboración del CSN con universidades”, dice un técnico del Área de Vi-

gilancia Radiológica Ambiental del organismo regulador.

En cualquier caso, los riesgos son bajos, aunque si van asociados a otros factores, especialmente el hábito de fumar, aumentan considerablemente ya que existe un efecto sinérgico entre el radón y el tabaco que aumenta el riesgo de daño pulmonar. Un modo de vida saludable y un adecuado control de los trabajadores de estas instalaciones es suficiente para prevenir sus efectos nocivos.

presión o se embarra con ellas ‘a pie de manantial’.

Solo una es la excepción a la regla: el agua de Carabaña, que sale de una fuente conocida como ‘La Favorita’ en un

balneario cerca de Madrid y se comercializa embotellada. Ya los franceses del siglo XIX se la llevaban en garrafas más allá de los Pirineos para aprovechar sus propiedades purgantes.

### Las mil y una aguas

“Hace tiempo que se analiza químicamente su composición, pero no había una investigación homogénea de toda su tipología, que es mucha porque va-

ría según su composición en minerales, pero también su temperatura, dureza e incluso radiactividad. Por eso, en la última década nos embarcamos en un proyecto de investigación que ha salido publicado en dos *Vademecum*, el primero en 2003 y el segundo en 2010. Ahora ya estamos preparando una nueva edición”, explica el profesor Francisco Armijo, subdirector de la Escuela Profesional de Hidrología Médica e Hidroterapia de la Universidad Complutense de Madrid y coautor de estos trabajos.

El largo siglo de existencia de esta escuela da idea de la raigambre que ha tenido el “ir a tomar aguas” para aliviar los males desde hace muchas generaciones. En la actualidad, es el centro de referencia para la formación de todos los médicos especializados en balnearios, antes integrado por los médicos del cuerpo de baños, que existía desde los tiempos de Fernando VII.

Estos profesionales son los responsables de decidir qué tratamiento necesita cada paciente y cómo y cuándo debe recibirlo. Y el menú que ofrecen es más que amplio: hay aguas sulfuradas (especialmente indicadas para las articulaciones), cloruradas (para la piel), ferruginosas (contra la anemia), sulfatadas (purgantes), biocarbonadas o carbogaseosas (para la digestión), oligometálicas y peloides, además de sus múltiples combinaciones. Incluso las hay que emiten gas radón, una radiación que en grandes cantidades puede ser peligrosa. Y aguas frías, hipotermas (de 21 a 35 °C), mesotermas (35-45 °C) e hipertermas, que resultan abrasadoras, al superar los 45 °C.

Luis Ovejero, director médico en el Balneario de Archena (Murcia), reconoce que no basta con tener una buena materia prima, sino que hay que saber cómo venderla en estos tiempos de crisis.

“Los balnearios”, afirma Ovejero, “deben especializarse en el tratamiento de



Francisco Armijo en las termas de Copahue, Argentina.

enfermedades en función de lo que tenemos, porque cada agua mineromedicinal tiene sus prescripciones, como cualquier fármaco. Pero esa cultura balnearia no existe. Las estancias se comercializan

a través de agencias de viajes, como turismo de la salud, y por internet; los usuarios las eligen por la oferta, o si están en un paraje con un paisaje bonito, sin fijarse mucho en dónde se van a bañar”.



Luis Ovejero, en su consulta médica del Balneario de Archena (Murcia).

El manantial murciano donde trabaja Ovejero tiene restos de ocupación desde hace 3.800 años, en la Edad de Bronce, cuando el olor a podrido del agua debió de actuar como un imán para los habitantes de los alrededores. La época dorada en Archena se vivió mucho más tarde, durante el siglo XIX, y perduró hasta que la farmacología moderna anglosajona, tras la Primera Guerra Mundial, puso en entredicho las cualidades de los baños y los balnearios entraron en una decadencia que acabó con el cierre de muchas instalaciones.

### Renacimiento

No ocurrió así en este emblemático establecimiento, que logró sobrevivir, mal que bien, hasta que en los años 90 del siglo pasado se puso en marcha el Programa de Termalismo del IMSERSO, que permitió el reflotamiento del sector, al facilitar el acceso subvencionado de los jubilados a un recurso perfecto para ellos.

Ovejero reconoce que hoy, pese a la crisis, la inmensa mayoría de sus pacientes siguen siendo mayores de 55 años. “Nuestros lodos son muy buenos como antiinflamatorios y los aplicamos sobre las articulaciones como analgésico. Intentamos especializarnos en el aparato locomotor. Y también hacemos tratamientos para la circulación y la piel con el agua sulfurosa. La mejor prueba de que funciona es que muchos repiten cada año, porque les viene bien, sienten menos dolores y así reducen sus medicaciones”, argumenta.

Desde otro clásico del termalismo, el Balneario de Lanjarón (Granada), su colega Pilar Rodríguez reivindica una mayor implicación de los médicos de Atención Primaria con el termalismo porque, en su opinión, son ellos los que deberían orientar a sus pacientes. “Si conocieran las posibilidades que existen, podrían ayudarles, pero no se hace y la informa-



Vista de una zona exterior del balneario de Archena, en la provincia de Murcia.

ción al final llega solo a través de las páginas web”, apunta.

En este lugar, enclavado en la Alpujarra, donde se cruzan las placas tectónicas de África y Europa, han tratado sus males personajes como Virginia Woolf, Bertrand Russell, Manuel de Falla y la familia de Federico García Lorca. Seis manantiales diferentes sitúan a este balneario entre los más emblemáticos del país: algunas de sus fuentes, porque sus aguas llegan puras desde Sierra Nevada; otras, porque llevan 400 años encerradas bajo tierra y son termales. A todas ellas debe su nombre: Lanjarón, una castellanización de Al-Lancharon, que significa “el lugar de los manantiales en árabe”.

“La más conocidas de todas las aguas es la capuchina, que tiene una mineralización muy alta y es muy buena para eliminar la bilis y como laxante. En general son tratamientos, con efectos probados científicamente, que duran entre 10 y 15 días como mínimo, y solo la gente mayor pasa tanto tiempo en balnearios. Tenemos un 40% de los clientes más jóvenes que lo que buscan es relajarse, pasar un fin de

semana de descanso en un lugar bonito”, reconoce Rodríguez.

En los últimos años, sin embargo, los clientes de más edad han disminuido al mismo ritmo que los recortes del dinero público destinado al termalismo, y la proliferación de *spas* urbanos y rurales, como espacios en los que disfrutar del ocio saludable, ha acabado por afectar también al negocio. Los datos que ofrece Rodríguez son un reflejo de ello: en el momento de recabar esta información, de las mil plazas que dispone el balneario de Lanjarón, solo había ocupadas 300, y las cifras anuales totales de visitantes rondan las 12.000 personas.

En la Sociedad Española de Hidrología Médica, una de las organizaciones profesionales científico-médicas más antiguas de España, son conscientes de la frágil situación que atraviesan estos establecimientos, tan delicada como el equilibrio químico que deben mantener sus manantiales. “Trabajamos con algo que no se puede conseguir en un laboratorio, que al almacenarse pierde sus propiedades y que es irrepetible, único en cada lugar. Tenemos nueve grupos de



Budapest es una de las ciudades con mayor tradición balnearia. En la imagen, el mayor de los baños públicos de la ciudad.



Juan Carlos San José, presidente de la SEHM.

aguas, pero las combinaciones son infinitas, con un ADN distinto. Sus propiedades ya están avaladas por infinidad de artículos científicos de prestigio internacional”, asegura el presidente de la Sociedad, Juan Carlos San José.

Estos trabajos, que van eliminando el halo de “aguas milagrosas” que en oca-

siones las ha rodeado, permiten a los profesionales médicos determinar las indicaciones para cada patología con una precisión cada vez mayor, como cualquier otra terapia.

### El riesgo de la contaminación

Uno de los riesgos a los que se enfrentan las aguas de los manantiales de uso público es que resulten contaminadas por agentes externos, contaminantes aportados por industrias y otras instalaciones que hoy proliferan en el medio natural. Para evitarlo, la normativa protege un área que varía entre los dos y los cinco kilómetros en el alrededor de los balnearios, algo que el presidente de la Sociedad Española de Hidrología Médica (SEHM) considera insuficiente: “Ya hemos tenido problemas de contaminación en algunos manantiales de estas instalaciones por vertidos industriales que afectan a los acuíferos y en esos casos no queda más remedio que cerrar el balneario hasta que se eliminan los tóxicos, aunque en algunos no se consigue, y entonces hay que cerrar”, explica Juan Carlos San José.

Uno de los últimos casos, en febrero de 2012, fue la detección de altos niveles de arsénico de origen natural en el sistema geotermal de La Selva (Girona), donde se encuentra el Balneario Vichy Catalán. En ese caso, la amenaza fue para las aguas de consumo y los investigadores, de las universidades politécnicas de Cataluña y de Barcelona, aconsejaron dejar de sobreexplotar los acuíferos de agua fría.

San José, por su parte, cree que la protección de estas instalaciones tiene que actualizarse. “Depende de la Ley de Minas de 1970, hace casi medio siglo. Hoy sabemos que hay acuíferos subterráneos de hasta 15 kilómetros, así que con la normativa no están protegidos lo suficiente, pero lo cierto es que ahora no es una prioridad y de momento no se ha hecho nada”, reconoce.

Modernizados y ahora dotados de fundamentos científicos, los balnearios se esfuerzan por mantener el imán que atrae a miles de personas cada año, a la vez que buscan definir su personalidad sanitaria. “Somos fuente de salud”, afirman sus promotores. La ciencia les da la razón. ©

# Las iniciativas Megaport y CSI

> María del Vigo Fernández,  
Área de Comunicación del CSN

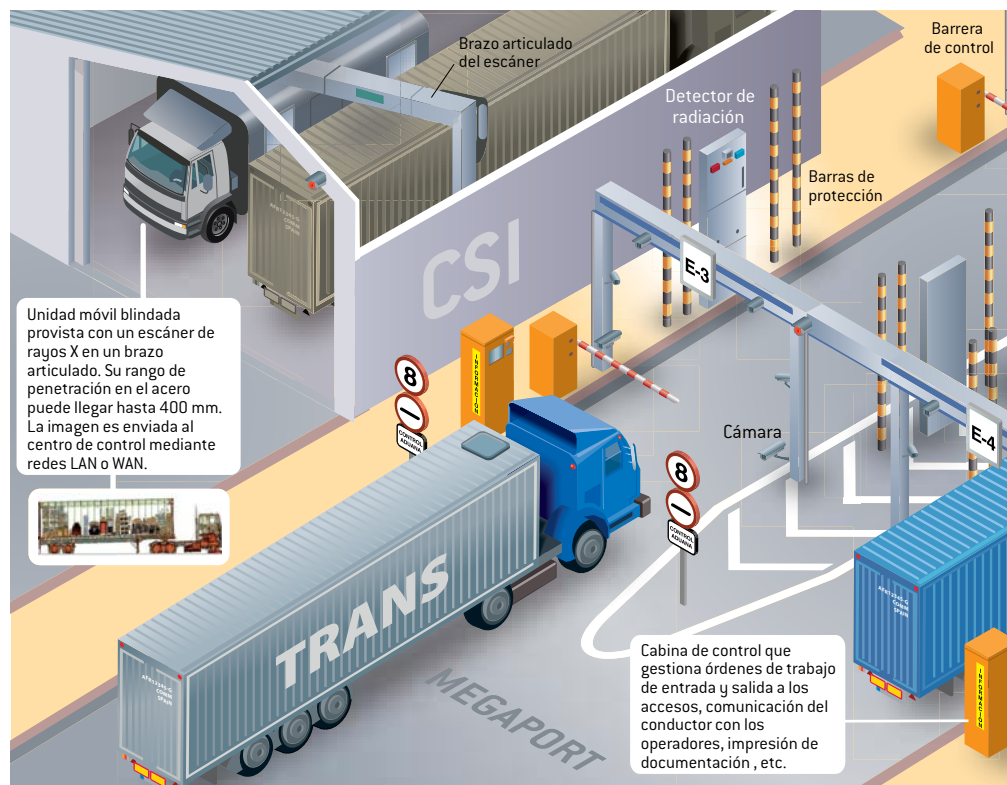


Tras los atentados del 11 de septiembre de 2001 en Nueva York, el Gobierno de Estados Unidos lanzó, entre otras cosas, dos iniciativas relacionadas con la seguridad física en el transporte de contenedores marítimos: la Megaport y la Container Security Initiative (CSI).

La iniciativa Megaport se activó en 2003, y en España la puso en marcha la Agencia Española de Administración Tributaria (AEAT) a través de Aduanas, con la colaboración del Departamento de Energía de Estados Unidos (DOE), con la firma de un Memorando de Entendimiento en materia de cooperación para la prevención del tráfico ilícito de materiales nucleares y radiactivos. Consiste en la implantación en diferentes puertos, por parte de la Agencia Nacional para la Seguridad Física Nuclear (NNSA, por sus siglas en inglés) del DOE estadouni-

dense, de equipos de alta sensibilidad para detección de material radiactivo que pudiera estar en los contenedores en tráfico por el puerto —ya sean de importación o de exportación—, bien por actividades ilícitas o bien por movimientos inadvertidos de material radiactivo.

Por el momento, en España cuentan con este tipo de sistemas de vigilancia los puertos de Vigo, Algeciras, Barcelona, Valencia y Bilbao, activo este último desde el pasado 2 de abril. Se trata de pórticos de medida de radiación gamma y neutrones, así como de otros dispositivos de medida portátiles —dosímetros electrónicos, radiómetros, contaminómetros y espectrógrafos gamma— para realizar inspecciones secundarias en caso de que uno de los pórticos produzca una señal de alarma al paso de un determinado contenedor.





Instalación de Megaport en el puerto de Algeciras.

Megaport incluye asimismo un protocolo de actuación entre Aduanas, el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), Enresa, el Ministerio del Interior, el Ministerio de Industria, Energía y Turismo (Minetur) y la correspondiente Autoridad Portuaria, que se activa en caso de detección. De esta forma, se garantiza una gestión del material en condiciones

de seguridad radiológica y física, que varía en función de su naturaleza (isótopo, actividad, forma física y química), de su propietario, responsable o titular —nacional o extranjero— y de si se trata de un movimiento involuntario o de un tráfico ilícito.

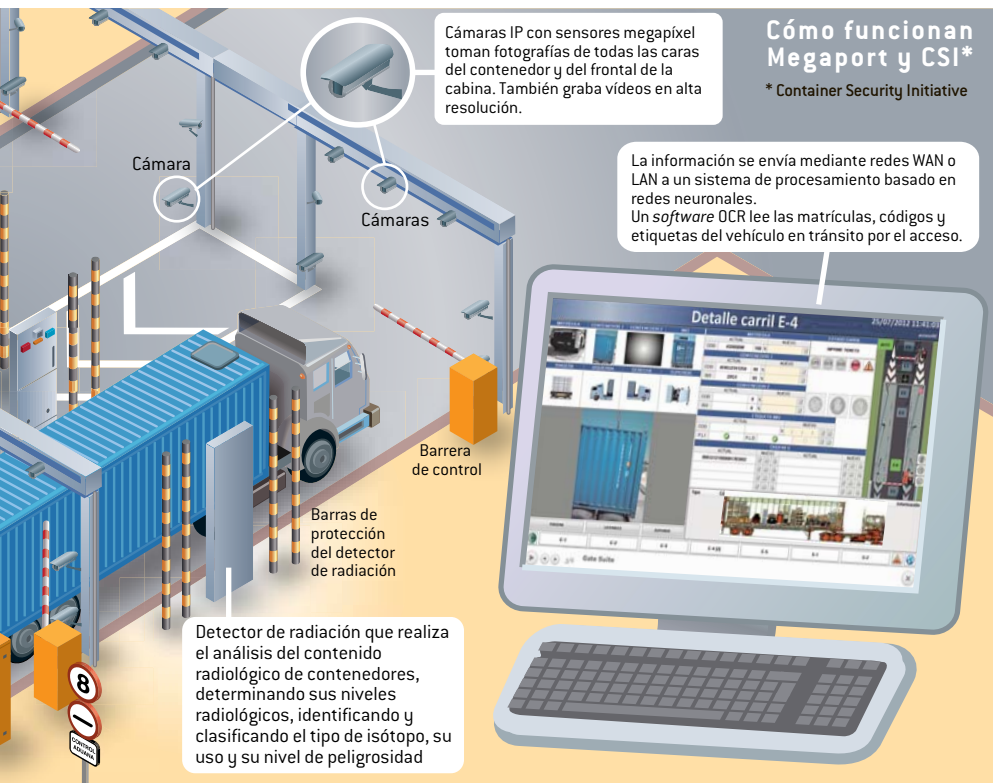
Por su parte, la Container Security Initiative es una iniciativa para que los

contenedores de transporte marítimo sean inspeccionados con equipos de rayos X antes de ser enviados a Estados Unidos, permitiendo la detección de todo tipo de material que pueda suponer una amenaza para la seguridad, como armas o explosivos, sean o no radiactivos. La CSI despliega equipos multidisciplinares en puertos extranjeros, que localizan y examinan los cargamentos que vayan a ser introducidos en una embarcación cuyo destino sea EE UU.

En este punto estriban las principales diferencias con Megaport, en el que la inspección se realiza a través de un escáner que no emite radiación sino que solo es capaz de detectar material nuclear o radiactivo, susceptible de ser empleado para la fabricación de una bomba sucia, y en el que el destino del contenedor no se tiene en cuenta, sino que se vigilan todos los materiales que entren o salgan del puerto.

La iniciativa CSI fue puesta en marcha en 2002 por la Oficina de Aduanas y Protección de Fronteras estadounidense, con el objetivo de ampliar la zona de seguridad hacia el exterior, de manera que la frontera americana sea la última línea de defensa, y no la primera. En España se encarga también de su operación la Agencia Española de Administración Tributaria a través de Aduanas.

Su primera implantación se llevó a cabo en los puertos con mayor volumen de contenedores con destino estadounidense, y se expandió posteriormente a aquellos considerados estratégicos. La CSI trabaja con el apoyo de la Organización Mundial de Aduanas, la Unión Europea y el G8, y opera en casi 60 puertos en todo el mundo, lo que supone que el 80% de las mercancías importadas por EE UU son sometidas a examen con este sistema. En España opera en los puertos de Algeciras, Barcelona, Valencia, Bilbao, Vigo y Las Palmas.



› Ignacio Fernández Bayo, periodista científico, director de Divulga

Francisco José López García (Almería, 1958) es ingeniero industrial por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros del ICAI, y Máster en Dirección de Operaciones del IE en 1996. Ha cursado los posgrados de Dirección General del IESE y de Esade. Ingresó en Iberdrola en 1983, donde desarrolló actividades de ingeniería para la central nuclear de Cofrentes y para otras centrales nucleares y térmicas de Iberdrola. Entre 1997 y 2002 desempeñó el puesto de director de la central nuclear de Cofrentes. En 2002 fue nombrado director de la División de Generación Nuclear de Iberdrola Ingeniería y Construcción, siendo el responsable del desarrollo de proyectos energéticos en Europa y Latinoamérica. En 2012 asumió la Dirección Nuclear del Grupo Iberdrola y desde 2013 es director general de Iberdrola Generación Nuclear. Es consejero de las empresas españolas Nuclenor y Tecnatom y de la británica NuGeneration. En febrero de 2013 asumió la presidencia de la Sociedad Nuclear Española.

## “El Plan de Acción es una oportunidad para que la industria dé un salto adelante en calidad y seguridad”

El próximo año cumple cuatro décadas de actividad la Sociedad Nuclear Española (SNE), una institución creada por iniciativa de los profesionales del mundo nuclear con el propósito de aunar esfuerzos para difundir la tecnología y compartir preocupaciones y soluciones entre sus miembros. Una asociación que, como dice Francisco López, “fuera independiente, tanto del Estado como de las empresas eléctricas” y que resultara útil para la sociedad en general. López, elegido presidente de la SNE el pasado mes de febrero, se muestra satisfecho del funcionamiento de la institución, aunque se encuentra inmersa en el proceso de elaboración de un nuevo Plan Estratégico que marcará las líneas maestras de su futuro. Las líneas maestras, dice, se mantendrán, pero “queremos descentralizar la SNE, que salga al encuentro del socio en las distintas comunidades para llegar a toda la sociedad”. Por eso pretenden que sus actividades se lleven a cabo no solo en Madrid o en las zonas donde hay centrales nucleares, sino también en el resto del territorio.

**PREGUNTA:** ¿Cuáles son esas actividades que lleva a cabo la SNE?

**RESPUESTA:** Realizamos muchas actividades que no son tan conocidas como nos gustaría, a pesar de que muchas de ellas están destinadas no solo a sus socios sino también a la sociedad en general. Las actividades las articulamos a través de ocho

comisiones, que desarrollan una actividad continua, con un presidente en cada una de ellas. Hay una de publicaciones, que se encarga de la revista; una comisión técnica; otra de programas; de terminología; la de los jóvenes nucleares, que realizan muchas actividades; otra comisión de mujeres por la energía nuclear, también con una intensa actividad; y la comisión de comunicación, con el objetivo de divulgar las actividades de la asociación. Por último, tenemos la comisión encargada de organizar la Reunión Anual.

**P:** ¿Esas actividades son de índole técnica?

**R:** No necesariamente, tenemos un programa amplio de actividades culturales en general, con visitas a museos y exposiciones, más allá de lo profesional. Pero las más importantes son de carácter técnico.

**P:** Ustedes celebran jornadas técnicas especializadas ¿Son su principal dedicación?

**R:** La Reunión Anual es el evento más importante que hacemos todos los años. Tiene una duración de tres días y pasamos revista a los temas de actualidad más importantes para el sector, pero además organizamos otras dos jornadas en el año. Una de experiencia operativa, que se suele hacer en febrero o marzo y en la que se revisa el funcionamiento de las centrales nucleares en el año anterior. Tiene bastante aceptación por parte de los socios




## “El CSN aporta un punto de vista que no puede faltar”

**P:** ¿Cómo son las relaciones entre la SNE y el CSN?

**R:** Creo que la relación es cada vez mejor y considero que eso es algo muy positivo y necesario, puesto que la SNE participa en la normativa de regulación que se va generando y emitiendo sus comentarios sobre cualquier aspecto técnico y de terminología. Para nosotros, el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) aporta un punto de vista imprescindible sobre el desarrollo de la tecnología nuclear que no puede faltar. Interpretamos que para el CSN también la relación con la SNE es fructífera e importante, y eso nos produce una enorme satisfacción. En todas las reuniones, jornadas de experiencia operativa y jornadas técnicas hemos contado con la presencia de miembros del CSN, y hemos realizado muchas jornadas y sesiones plenarias donde hemos podido contar con el cuerpo técnico del CSN. Creo que si la SNE tiene como primer objetivo difundir de forma veraz la situación de la tecnología nuclear, no podemos dejar de contar con el CSN. Nuestra obligación como SNE es que la información que difundimos en nuestras reuniones y jornadas técnicas sea veraz y formativa para las personas que las siguen, y que además contribuya a que esas personas se formen una opinión. Para eso necesitan información correcta y cuantos más matices tengan las opiniones más rico será el análisis y mejor



opinión tendrá el público en general. Todos podemos tener una visión parcial, así que la unión de todos esos puntos de vista nos permite estar más cerca de la realidad. 

y del público. Y la otra es la jornada técnica, que suele realizarse a final de primavera, en junio. Se elige un tema que pueda ser de interés, no solo para la SNE sino en general para la industria nuclear. Este año, por ejemplo, se ha elegido la protección contra incendios, porque ha habido un cambio en la normativa, con la publicación de la IS-30 por parte del Consejo de Seguridad Nuclear y la adaptación que están haciendo todas las plantas y hemos determinado que es un tema de actualidad y de interés.

**P:** *La I+D es esencial en este sector, que exige mejoras continuas, pero da la impresión de que en España está un poco paralizada.*

**R:** La SNE tiene unas becas con las que intenta fomentar que doctorandos o personas que han terminado la carrera puedan hacer programas máster y de investigación en las universidades, y hay otras instituciones que también están becando esa inves-

tigación, así que yo creo que las universidades están haciendo buenos programas de innovación y desarrollo. Por otro lado tenemos centros pioneros, como el Ciemat, que continúa desarrollando una intensa labor investigadora. En cuanto a las empresas, está claro que a las que mejor les va son a aquellas que están innovando en sus productos, y las del sector nuclear español están triunfando por todas partes, exportando sus productos a Francia, China, etcétera. Si no continuáramos con esta labor la industria declinaría, pero eso no está ocurriendo.

**P:** *Sin embargo existe preocupación por el descenso de vocaciones en los últimos años, que puede poner en entredicho el relevo generacional de personal cualificado.*

**R:** La preocupación existe, el problema todavía no ha dado la cara, pero puede llegar a ser real si no se toman acciones a corto plazo. Una de las líneas



de atraerles para que se puedan incorporar sin ningún compromiso y sin ningún coste. Es una puerta abierta para entrar, mirar y ver si lo que hay interesa, y también satisfacer las necesidades de información y formación. Sobre todo se dedican a preparar cursos de formación para personas interesadas en entrar en el sector, como un curso que se ha impartido hace poco sobre nuevas centrales nucleares en la Escuela de Industriales.

**P:** *¿Cómo se integran en la SNE?*

**R:** Ellos organizan sus propias actividades que nos van exponiendo en las reuniones mensuales de la Junta Directiva de la SNE. Allí exponen lo que hacen, qué jornadas van a organizar, y piden el apoyo de la SNE. Nosotros les damos cobertura presupuestaria y también apoyo tecnológico. Hay muchos profesionales de instituciones, empresas, incluso del CSN, que voluntariamente se ofrecen a participar en estos cursos para dar a conocer los pormenores de la tecnología nuclear. Han conseguido que el próximo Congreso Internacional de Jóvenes Nucleares, que se realiza cada dos años, se celebre en Burgos el año próximo. Esto permitirá dar a conocer la industria nuclear española, porque van a visitar las principales instalaciones y empresas.

**P:** *Una de las razones del problema del relevo generacional es que hace unos años se veía el sector como con fecha de caducidad puesta y eso no alentaba vocaciones. ¿Ha cambiado el panorama?*

**R:** Yo creo que ha cambiado, sí, porque al reducirse la actividad del sector nuclear clásico en España, todas las empresas han ido a buscar oportunidades fuera, con lo cual los proyectos de investigación son europeos, apenas se hacen ya proyectos solo españoles. Las empresas tienen cada vez una mayor cartera de trabajos fuera de España, y han conseguido con eso mantener su actividad empresarial y, al mismo tiempo, renovar sus cuadros de mando y su personal. A todo esto añadimos que las centrales nucleares han desarrollado en los últimos años unos programas de inversión muy fuertes para actualizarse tecnológicamente y cumplir con toda la normativa que se está emitiendo, sobre todo desde el accidente de Fukushima. Y además, están todas enfocadas

estratégicas del nuevo Plan Estratégico que está elaborando la SNE está enfocada a los jóvenes. Hay que formarlos y mantenerlos, para que no se vayan a otras industrias más atractivas. Somos conscientes de que necesitamos ilusionar a los jóvenes porque en un plazo corto, que ya ha empezado, se jubilarán muchas de las personas que entraron en este sector en sus inicios. Creo que muchos jóvenes se sienten hoy atraídos y hay que conseguir que de ahí salgan magníficos profesionales.

**P:** *¿De ahí la comisión o grupo de jóvenes nucleares?*

**R:** Los jóvenes nucleares son una comisión muy importante dentro de la estructura de la SNE. Lo que diferencia a Jóvenes Nucleares del resto de comisiones es que tiene su propio fichero de socios. Pueden ser unos 800 miembros, aunque solo un 10 o un 20% de ellos son miembros de pleno derecho de la SNE, los demás están considerando si les interesa seguir en el mundo nuclear. Suelen ser recién titulados o en últimos años de carrera, y la mayoría vienen de ingeniería, aunque también hay muchos físicos, de medicina, de protección radiológica. Es una forma



*“El problema del relevo generacional puede hacerse real a corto plazo”*



hacia una operación a largo plazo, de 60 años o incluso más. Por todo ello, sí ha cambiado el panorama; ha cambiado el panorama interno, porque estamos preparados para abordar esa operación a largo plazo; y ha cambiado el internacional. Eso le ha dado otro dinamismo al sector.

**P:** *¿Qué impacto ha tenido el accidente de Fukushima sobre la industria?*

**R:** Fukushima, como ocurrió con otros sucesos anteriores, ha cambiado la mentalidad. Va a permitir

incrementar notablemente los márgenes de seguridad de las centrales nucleares. En primer lugar las empresas españolas lo han visto como un suceso totalmente fuera de las bases de diseño; que aunque en principio no era previsible, ha ocurrido. Y que ha provocado una revisión de todos los márgenes de seguridad de las centrales, a través de las pruebas de resistencia, que son una oportunidad para los operadores y la industria de proponer mejoras e incrementar esos

márgenes. Lo que observo es que hay una gran satisfacción entre los operadores y suministradores, al ver que de Fukushima se va a sacar algo muy medible y muy práctico, un incremento de los márgenes de seguridad. El Plan de Acción puesto en marcha tras Fukushima es una oportunidad para que la industria dé un salto adelante en calidad y seguridad.

**P:** *Más allá de los aspectos técnicos ha tenido efectos sociales y políticos. La sociedad española, tradicionalmente opuesta a la energía nuclear, estaba empezando a cambiar y Fukushima ha cortado ese proceso. Y algunos países, como Alemania, han decidido prescindir de la energía nuclear en el futuro.*

**R:** Desde la SNE consideramos precipitadas las decisiones que han tomado ciertos países de cerrar las centrales sin haber realizado prácticamente ningún estudio ni ninguna evaluación de su estado, y tendrá consecuencias económicas. Ha habido también otros países que estaban dando pasos acelerados para incorporarse a aquellos con energía nuclear y también han decidido frenar. En cuanto a la sociedad española, en las encuestas que realiza el Foro Nuclear hemos visto que antes de Fukushima se había conseguido por primera vez que hubiera muchas más personas a favor de la energía nuclear



que en contra. Los mejores registros se dieron en torno a 2009, y con Fukushima se produjo una caída muy importante en la opinión. Pero también se ha observado que ha sido una reacción visceral y temporal, porque en las siguientes encuestas se están recuperando muy rápido los valores anteriores a Fukushima. Cuando se ha dado información, se han publicado los resultados de las pruebas de resistencia y se han conocido los márgenes de seguridad en toda Europa se ha recobrado relativamente pronto una parte de esa opinión pública que antes era favorable. España es un país atípico porque, en Europa, los países con centrales nucleares son los que tienen mayor aceptación pública de la energía nuclear, pero España está entre los que tienen un menor nivel de aceptación.

**P:** *¿Por qué se produce esa singularidad? ¿Es un problema de comunicación?*

**R:** En el nuevo Plan Estratégico vamos a tratar de fortalecer todo lo que se refiere a la comunicación. Las anteriores juntas directivas ya lo consideraron así y crearon la figura del portavoz, pero vamos a reforzar este aspecto. Aspiramos a contar lo que hacemos y a hacerlo lo mejor posible. La comunicación no depende solo de que tengas buenos profesionales de la comunicación; es necesario

“*Estamos preparados para abordar la operación a largo plazo de las centrales*”



capacidad instalada para suministrar al sistema eléctrico ibérico, con Portugal, de 105.000 MW, cuando las puntas de demanda están entre 30.000 y 40.000 MW. De esos 105.000, prácticamente 80.000 corresponden a instalaciones no ligadas a condiciones meteorológicas, como el viento o el sol, sino de carbón, ciclo combinado, hidráulicas... Además, la tremenda crisis económica que está padeciendo España ha reducido el consumo de energía eléctrica a niveles de 2005.

**P:** Si la situación cambiase, ¿qué sería necesario para que alguna empresa se planteara la posibilidad de construir nuevos reactores? ¿Un pacto de Estado para que haya un marco de estabilidad?

**R:** Desde la SNE siempre hemos defendido la necesidad de que el marco regulatorio sea estable, aunque eso no significa que sea inmóvil. Se moverá según las necesidades y las mejoras que haya que hacer, pero debe hacerlo de forma predecible. En este momento, si una empresa o un grupo de ellas toma la decisión de hacer una inversión tan importante como es una central nuclear nueva tienen que conocer en qué condiciones van a obtener las licencias de construcción y de operación de la central y también, de alguna forma, qué esperan del mercado para la recuperación de esa inversión. Y esos son los dos temas que ha tratado el Gobierno británico de establecer. Han promulgado una ley de reforma del sector eléctrico que ha requerido una mayoría amplia y luego han cambiado el sistema de ofertas al mercado estableciendo los contratos por diferencias. Disponen de un contrato para cada una de las tecnologías, incluida la eólica *off-shore*, que garantiza que esas inversiones se pueden recuperar a precios de mercado, que el inversor asuma el riesgo tecnológico y de ejecución de la inversión, pero no que el proyecto se pueda cancelar ni la volatilidad de los precios a corto plazo. Deberíamos ir hacia esa seguridad.

**P:** Uno de los problemas tradicionales de la energía nuclear es la gestión de los residuos de alta actividad. Parece que en España empieza a estar encauzado a través del ATC. ¿Qué piensa la SNE del tema?

**R:** Para la SNE ha sido una decisión muy esperada y nos congratula que se haya podido definir

que cada profesional nuclear en su ámbito, trato personal, profesional, social, hable de las cosas que hace y haga patente su punto de vista.

**P:** Pese a Fukushima, algunos países mantienen su apuesta.

**R:** Sí. El programa inglés es muy sólido, el Gobierno aprobó una política energética y nuclear que daba respuesta a la posición del Parlamento a favor de la renovación del parque nuclear inglés, que va alcanzando el final de su vida, por nuevas centrales de última generación. Han dado pasos importantes en esa dirección, como publicar la lista de emplazamientos donde sería adecuado instalar esas nuevas centrales nucleares, y han iniciado procesos de subasta pública poniendo a disposición de los operadores nucleares suelo adyacente a las centrales actuales para construir otras nuevas. Han hecho una Generic Design Assessment, una evaluación de los diseños genéricos, de manera que las empresas que quieran licenciar los futuros reactores tengan ya prelicenciados los diseños genéricos. En concreto se han licenciado el AP1000 de Westinghouse y el EPR de Areva. Creo que es un ejemplo para toda Europa.

**P:** ¿Para España también?

**R:** Creo que en España tenemos que resolver primero un problema estructural. Tenemos una



*“Desde la SNE defendemos la necesidad de que el marco regulatorio sea estable y predecible”*



el emplazamiento del almacén centralizado de combustible gastado porque nos da la visibilidad de futuro, nos dice cómo vamos a gestionar el combustible gastado durante los próximos 50 años o más, incluso 100 años. Se despeja una incertidumbre. Creo que en este momento no deberíamos cerrar ninguna de las grandes opciones, e incluso, durante este tiempo, deberíamos reconsiderar la posibilidad de reutilizar el combustible y que las centrales pudieran operar con combustible mixto y reducir aún más los residuos.

**P:** *Esa apuesta la han hecho algunos países, como Francia, pero no se ha generalizado.*

**R:** Hay países que sí lo están haciendo. Francia, Inglaterra y Alemania utilizaban combustible de óxidos mixtos. Yo creo que en España la decisión de no reprocesar el combustible está muy

ligada a la no proliferación y es una manera de garantizar que ese combustible no va a ser mal utilizado, pero en cualquier caso tenemos que estudiar la solución definitiva y reprocesar sería una opción para reducir el volumen.

**P:** *En esa línea las investigaciones en transmutación pueden ser una solución al problema, ¿Cómo lo ven desde la SNE?*

**R:** Por supuesto, la SNE apoya todos estos proyectos de investigación, al igual que apoya los proyectos de fusión, como ITER, que también son instalaciones nucleares y son importantes para nosotros porque abren nuevas expectativas para una sustitución de la energía de fisión en el futuro. Hay que estar atento a estas opciones.

**P:** *Pero esa opción es a un plazo muy largo aún.*

**R:** Bueno, ya sabe lo de que siempre faltan 50 años, pero yo creo que el proyecto ITER ha tenido la mala suerte de construirse en un momento de crisis económica y va despacio, pero demostrará que es una tecnología capaz de producir energía eléctrica de manera controlada y segura y como todas las tecnologías, necesita mucha inversión. Es un problema de recursos.

**P:** *Eso es optimismo tecnológico. La complejidad de los problemas es muy grande, según los propios investigadores de ITER, no es solo cuestión de recursos.*

**R:** Creo que desde la SNE debemos mandar ese mensaje positivo y la industria española ha demostrado ser muy capaz de resolver todos los retos que se le han puesto por delante. Creo que es una apuesta ganadora.

**P:** *Imagino que mantienen ustedes relaciones internacionales con sus homólogos.*

**R:** Cuando se constituyó la European Nuclear Society, España estaba entre los países que firmaron como miembros fundadores. Todas sus actividades se comparten con todos los socios y nosotros participamos en reuniones, conferencias, etc. Fruto de esa colaboración es que hace cuatro años celebró su congreso bienal en Barcelona. También mantenemos una relación muy estrecha con la American Nuclear Society, estamos en la junta directiva y socios de la SNE han estado en el Consejo. Con ellos tenemos un importante intercambio de información, dado que la mayoría de las centrales españolas son de tecnología estadounidense. En el Plan Estratégico que estamos diseñando para los próximos años, queremos estrechar aún más los lazos con las sociedades de países que tienen programas nucleares importantes, Francia, Finlandia, Inglaterra...

**P:** *¿Y Japón?*

**R:** Creo que Japón va a continuar con la energía nuclear. No tiene alternativas, lo tiene muy complicado para generar una energía abundante, con seguridad de suministro, de bajo impacto ambiental. Tiene más de 50 centrales. Ahora mismo solo dos de ellas están funcionando y el resto está acometiendo mejoras de seguridad. Van a conseguir un incremento sustancial de sus márgenes de seguridad para volver a ponerlas en marcha. Habrá algunas, por supuesto, que por estar en zonas especialmente problemáticas por su sismicidad no volverán a operar, pero sí que confiamos en que el programa nuclear continúe. Además, Japón está reforzando considerablemente su sistema de supervisión de la seguridad, tanto a nivel del regulador como de la propia industria. Han creado una organización muy similar a INPO, que agrupa a todas las centrales nucleares americanas. A través de WANO, que es la asociación mundial de operadores, y los intercambios con INPO, se va a reforzar mucho la supervisión, tanto por autoevaluación como por parte del regulador. Y nosotros también estamos colaborando a través de esos organismos.

“La industria española ha demostrado ser capaz de resolver todos los retos que se le han presentado”

## Estimación de las dosis poblacionales en España por procedimientos diagnósticos de radiología y medicina nuclear

› Rafael Ruiz-Cruces<sup>1</sup>,  
 M<sup>a</sup> Luisa Ramírez<sup>2</sup>,  
 Sergio Cañete<sup>1</sup>,  
 Agustín Ruiz<sup>2</sup>,  
 Manuel Pérez-Martínez<sup>1</sup>,  
 Juan Carlos Alonso-Farto<sup>2</sup>,  
 Sonia Moreno<sup>1</sup>,  
 Natividad Ferrer<sup>2</sup>,  
 Aurora Pola<sup>1</sup>,  
 Carmen Álvarez<sup>1,2</sup>,  
 María Isabel Fernández-  
 Vázquez<sup>1</sup>,  
 Juan Manuel Gil-Gahete<sup>1</sup>,  
 Manuel Rodríguez<sup>1,2</sup>

El número de exploraciones y procesos médicos que emplean radiaciones ionizantes han aumentado de forma continua en los últimos años. Más del 90% de las exposiciones a las radiaciones ionizantes generadas por el hombre provienen de los usos médicos y la dosis colectiva debida a las exposiciones de los pacientes es 200 veces mayor que la dosis ocupacional de los trabajadores expuestos. Al mismo tiempo, la aparición de nuevas tecnologías, el incremento del uso de la Tomografía Computarizada (TC), incluso en pacientes pediátricos, el desarrollo de la radiografía digital, la radiología intervencionista, las nuevas tecnologías en medicina nuclear con la utilización de equipos híbridos de PET/TC y SPECT/TC, contribuyen también al aumento de las dosis recibidas por los pacientes, lo que implica un desafío para las autoridades reguladoras en materia de protección radiológica, cuyo objetivo es lograr que los riesgos en los pacientes sean lo más bajos posibles comparados con los beneficios que proporciona el empleo de las radiaciones ionizantes en el área médica, de acuerdo con el criterio ALARA.

Los principios de la protección radiológica de los pacientes (justificación, optimización de dosis y prevención de accidentes e incidentes) tienen efectos directos en el equilibrio entre riesgos y beneficios del uso de radiaciones ionizantes y, por tanto, en la excelencia de la calidad del proceso médico (optimización), en su impacto en la seguridad del paciente para prevenir accidentes e incidentes, y en el uso adecua-

do y eficiente de unos recursos sanitarios limitados (justificación).

El Real Decreto 1313/2010, por el que se reestructuran los departamentos ministeriales, dispone en su artículo 15 que corresponde al Ministerio de Sanidad, Política Social e Igualdad la política del Gobierno en materia de salud, de planificación y asistencia sanitaria y de consumo, así como el ejercicio de las competencias de la Administración General del



El uso de equipos de radiodiagnóstico aumenta de forma continua.

<sup>1</sup>Proyecto Dopies

<sup>2</sup>Proyecto Domnes

Estado para asegurar a los ciudadanos el derecho a la protección de la salud. Asimismo, el Real Decreto 263/2011 que desarrolla la estructura orgánica básica del mencionado Ministerio, dispone que la Dirección General de Salud Pública y Sanidad Exterior sea el órgano que asume, entre otras funciones, las relativas a la protección radiológica y a la de las radiaciones no ionizantes.

Por otro lado, la Ley 33/2007 por la que se modifica la Ley 15/1980 de Creación del Consejo de Seguridad Nuclear, asignó una nueva función al Organismo indicada en el apartado h) de su artículo 2º con el texto: “Colaborar con la autoridades competentes en relación con los programas de protección radiológica de las personas sometidas a procedimientos de diagnóstico o tratamiento médico con radiaciones ionizantes”. Para desarrollar esta nueva función, el día 2 de noviembre de 2010, el CSN firmó un convenio marco con el Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad en el área de la protección radiológica del paciente, siendo los principales temas objeto de colaboración en relación con este ámbito los siguientes:

—Participación en el desarrollo normativo internacional y participación en foros y grupos de trabajo nacionales e internacionales.

—Armonización de la protección radiológica del paciente en todas las comunidades autónomas.

—Epidemiología de los efectos sobre la salud debidos a la exposición a radiaciones ionizantes de los trabajadores y la población.

—Fomento de la aplicación de nuevas técnicas de análisis de riesgo en instalaciones radiactivas médicas.

—Desarrollo de mecanismos de notificación de incidentes, accidentes y averías de equipos con posible impacto en la protección radiológica del paciente.



Radiodiagnóstico por tomografía computerizada.

—Fomento de políticas para establecer e implantar registros dosimétricos individuales de pacientes.

—Formación en protección radiológica de los profesionales sanitarios.

Por otro lado, la Comisión Europea (CE), con el asesoramiento del Grupo de Trabajo del Artículo 31 sobre Exposiciones Médicas, promovió un estudio a finales de 2004 para examinar la situación de los Estados miembros respecto de la aplicación del artículo 12 de la directiva 97/43/Euratom sobre exposiciones médicas y desarrollar así una adecuada orientación.

El citado artículo 12 titulado “Estimaciones de dosis a la población”, exige a los Estados miembros la obtención de estimaciones de las dosis poblacionales a partir de las dosis individuales por cada exposición médica, así como por grupos de edad y sexo.

De esta forma, la Comisión instó a los países miembros a realizar un proyecto para aunar criterios metodológicos, con el fin de evaluar las dosis recibidas por los pacientes en exposiciones médicas a radiaciones ionizantes. Estos criterios, internacionalmente

aceptados, permitirían estimar con certeza las dosis a la población en los países europeos. Así nació un proyecto multinacional (llamado Dose Data-med) en el que participaron diez países europeos. La primera parte del proyecto denominada Dose Datamed 1, se centró básicamente en exámenes de radiodiagnóstico.

En 2008, tras la conclusión de este proyecto, la Comisión Europea publicó un documento técnico, concretamente el *Report Radiation Protection* nº 154, titulado “European Guidance on Estimating Population Doses from Medical X-Ray Procedures”. En él se recogen las estimaciones de dosis a la población, basándose en una clasificación final de 20 procedimientos de radiodiagnóstico médico denominadas Top 20, que recogen a todos los demás. Este documento técnico también recoge las estimaciones en varios procedimientos de la Medicina Nuclear.

España no participó en el citado estudio y sí lo hicieron Luxemburgo, Bélgica, Dinamarca, Alemania, Noruega, Holanda, Suiza, Inglaterra, Francia y Suecia.

Por otro lado, existe una preocupación internacional por el incremento del riesgo radiológico que suponen nuevos

procedimientos diagnósticos guiados por rayos X, tanto para los pacientes como para los profesionales sanitarios implicados. El comité Unsear, en su reunión celebrada en Viena en julio de 2008, destacó este hecho en su informe a la Asamblea General de Naciones Unidas. También la Organización Mundial de la Salud (OMS) lanzó durante el año 2008 una acción denominada “Global Initiative on Radiation Safety in Healthcare Settings”, poniendo de manifiesto la importancia del tema en la reunión plenaria del Comité de Expertos celebrada en Ginebra en diciembre de 2008.

En 2011 comenzó una segunda parte del proyecto bajo la denominación Dose Datamed 2 (DDM2), en la que se hizo un mayor hincapié en los estudios de medicina nuclear y, además, se incluyeron otros países que, como España, no participaron en la primera parte del proyecto.

Además, el Real Decreto 1976/1999, por el que se establecen los criterios de calidad en radiodiagnóstico, indica en su Disposición Adicional Primera, estimaciones de las dosis a la población, que “la autoridad sanitaria competente y el Consejo de Seguridad Nuclear garantizarán que se determine la distribución de

las estimaciones de dosis individuales resultantes de las exposiciones con fines médicos, para la población y los grupos de referencia significativos de la población, cuyos resultados serán remitidos al Ministerio de Sanidad y Consumo”.

Basándose en estos precedentes, se consideró la necesidad de desarrollar una metodología, propuesta por la Comisión Europea en nuestro país, que permitiera comparar los valores de dosis suministradas a pacientes en exploraciones de radiodiagnóstico médico y de medicina nuclear, así como la contribución estas a las dosis poblacionales. Así nacieron los proyectos Dopoes (estimación de la dosis poblaciones en España en estudios de radiodiagnóstico médico) y el proyecto Domnes (dosis a la población por estudios de medicina nuclear en España).

El primer proyecto se está realizando mediante un acuerdo específico de colaboración entre el Consejo de Seguridad Nuclear y la Universidad de Málaga para la realización de una prospección sobre los procedimientos de radiodiagnóstico utilizados en los centros sanitarios españoles, su frecuencia, y las dosis recibidas por los pacientes y la pobla-

ción. La duración del proyecto es de 29 meses, teniendo su fecha de finalización para el primer semestre de 2014.

El proyecto Domnes se realiza en el marco del Foro de Protección Radiológica en el Medio Sanitario creado en 2001 y compuesto por el Consejo de Seguridad Nuclear, la Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR) y la Sociedad Española de Física Médica (SEFM). Para este proyecto, además de con el Foro, se cuenta con la participación de la Sociedad Española de Medicina Nuclear e Imagen Molecular (SEMNUM) para la realización de una prospección sobre los procedimientos de medicina nuclear utilizados en los centros sanitarios españoles, su frecuencia, y las dosis impartidas a los pacientes. La duración del proyecto es de 16 meses, teniendo su fecha de finalización en el 2013.

Ambos proyectos disponen del respaldo del Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad y de las autoridades sanitarias de las comunidades autónomas.

## Objetivos

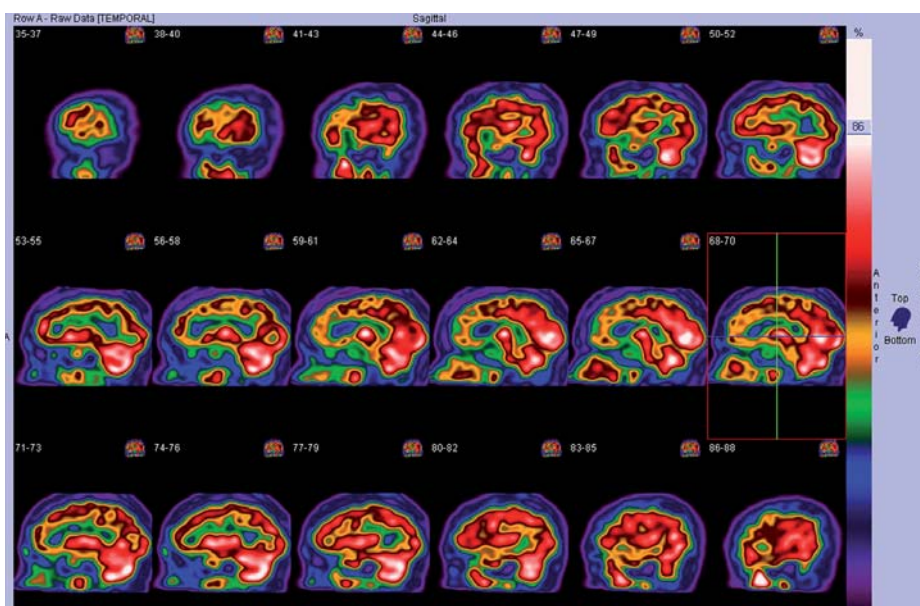
Los objetivos específicos de los proyectos Dopoes y Domnes son los siguientes:

—Determinar la relación entre las frecuencias de los diferentes tipos de exámenes con rayos X y en medicina nuclear, con las dosis típicas impartidas a los pacientes y su contribución a la dosis colectiva total en España en cada disciplina.

—Comprobar si existen variaciones entre las comunidades autónomas en cuanto a frecuencias y dosis individual para cada tipo de examen con rayos X y en medicina nuclear.

—Estimar la contribución de los diferentes procedimientos radiológicos médicos (radiodiagnóstico) y de medicina nuclear a la dosis colectiva total en España.

—Comparar las frecuencias y las dosis individuales anuales con las obtenidas en otros países de la Unión Europea.



Imágenes seccionadas de un cerebro obtenidas por TC.

—Contrastar la contribución a la dosis de la población debida al radiodiagnóstico médico y a la medicina nuclear con las debidas a la exposición a otras fuentes naturales y artificiales de radiaciones ionizantes.

—Proponer o ampliar niveles de referencia para diagnóstico actualizados para los procedimientos de Radiodiagnóstico y Medicina Nuclear, con una contribución significativa a la dosis colectiva.

—Identificar situaciones de potencial exceso de dosis acumulada, determinando cuando sea posible sus causas y recomendando medidas correctoras.

—Establecimiento de las bases para futuros desarrollos que incluyan la evaluación poblacional sobre impacto en salud de los procedimientos de diagnóstico médico.

—Desarrollar una infraestructura para la obtención de información y una metodología para evaluación de las dosis a los pacientes y para la estimación de las dosis a la población que facilite la realización de nuevas prospecciones en el futuro.

—Aportar información sobre la situación en España de ambas disciplinas al proyecto de la Comisión Europea DDM2.

Dopoes está formado por un grupo multidisciplinar local y un equipo consultor en las distintas materias implicadas para la realización del mismo.

Domnes está formado por un grupo coordinador con representantes de cada una de las tres sociedades científicas participantes y técnicos del CSN con las funciones de coordinación y desarrollo del proyecto. El seguimiento en la ejecución del proyecto, análisis de los datos y resultados, así como la próxima elaboración del informe final se realiza en un equipo de trabajo formado por dicho grupo coordinador y ampliado por parte de cada sociedad profesional y del CSN, con al menos otros tres representantes.

## Metodología y estado actual del proyecto Dopoes

Para realizar el trabajo propuesto se han establecido seis fases, incluyendo la planificación temporal de las mismas, que a continuación se describen.

En la fase inicial, o Fase I, que se desarrolló desde noviembre de 2011 hasta enero de 2012, se recopilaron los datos demográficos en España y en el censo de instalaciones de radiodiagnósticos con el fin de poder planificar la obtención de datos de frecuencia y dosis, de tal modo que quede cubierto todo el territorio nacional. En esta primera fase también se seleccionaron las distintas zonas sanitarias, determinando el número de habitantes a las que dan cobertura para cada una de las comunidades autónomas, incluyendo las ciudades autónomas de Ceuta y Melilla.

Para cada comunidad autónoma se seleccionó, al menos, una zona sanitaria que tuviera un hospital de la red pública que abarcara un porcentaje de población significativo comparado con la demografía de la zona. Asimismo, se escogió un hospital de la red privada, con similares características al anterior.

En el caso de las comunidades autónomas de gran población (Andalucía, Madrid y Cataluña, esta última aún sin realizar), se seleccionaron dos hospitales públicos y dos privados con el fin de disminuir el nivel de incertidumbre en la extrapolación de datos, siempre que fuera posible acceder a ellos por autorización de los organismos competentes.

Por último, se seleccionaron varias clínicas dentales en cada comunidad, que tuvieran un volumen suficiente de exploraciones radiológicas, complementando a las que se hacen en los centros asistenciales de la red pública.

En todas las zonas sanitarias seleccionadas se contactó con los responsables de las mismas, mediante carta acreditada del Consejo de Seguridad Nuclear dando a conocer los objetivos del proyecto.

Con el fin de obtener las correspondientes autorizaciones y poder planificar la recogida de datos se procedió a contactar por carta, *e-mail* o vía telefónica con los gerentes de los hospitales, tanto públicos como privados, con los jefes de los servicios de Radiodiagnóstico y de Radiofísica Hospitalaria y Protección Radiológica (Unidad Técnica de Protección Radiológica, UTPR, en caso de que no existiera dicho servicio) y, por último, con el jefe de Informática. La gestión con las clínicas dentales se realizó directamente con los titulares de las mismas y también con datos obtenidos de las UTPR que las controlan.

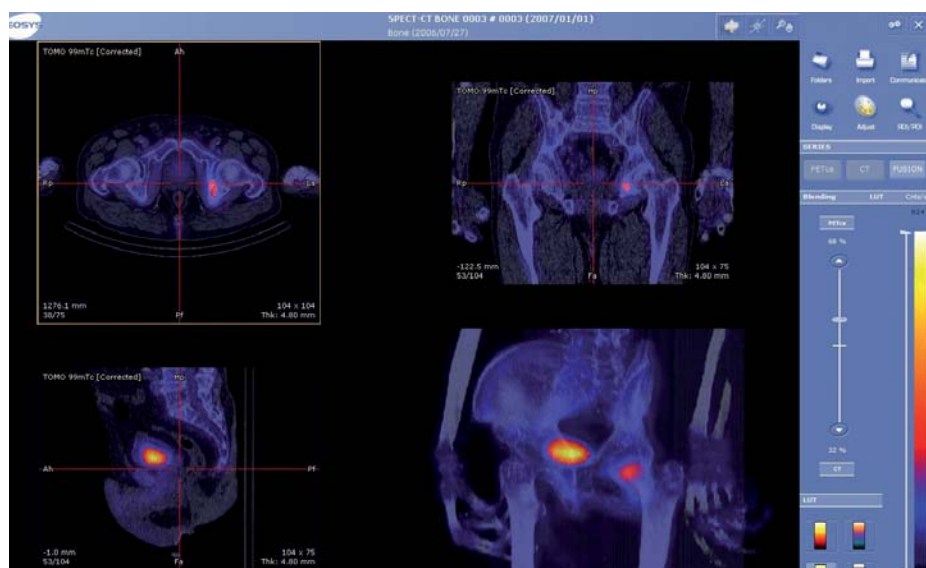
En esta primera fase también se establecieron los criterios de selección y clasificación de procedimientos, que se hicieron basándonos en lo recogido en el documento técnico *Radiation Protection* nº 154 de la Comisión Europea y, concretamente, centrándonos en el TOP 20. También se diseñó un protocolo de recogida de datos para cada procedimiento teniendo en cuenta la edad, sexo, fecha, código y descripción de procedimiento y el tipo de magnitud dosimétrica a considerar.

Para calcular la dosis colectiva efectiva de la población tomamos como magnitud de referencia la dosis efectiva (E). Para llegar a ella, se debe asumir una clasificación de los procedimientos de radiodiagnóstico en cuatro grandes bloques:

### A. Radiología general

En estos procedimientos se obtienen como magnitudes dosimétricas la Dosis Entrada en Superficie (ESD) o el Producto de la Dosis por Área (DAP). Los sistemas modernos digitales calculan estos valores automáticamente y aparecen en las cabeceras DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*).

En caso de no ser posible se solicitan estos datos a los servicios de Física Médica (FM) y Protección Radiológica



Imágenes óseas obtenidas mediante SPECT-TC.

(PR); en su defecto, los obtenemos a partir de la dosis absorbida en aire mediante cálculo con el *software* PCXMC.

## B. Mamografías

En estas exploraciones se obtiene como magnitud dosimétrica la Dosis Glandular Media (MDG), que algunos equipos modernos digitales ya incluyen.

En caso de no ser posible se solicitan estos datos a los servicios de FM y PR o, en su defecto, se obtienen a partir de la dosis glandular media, mediante cálculo con el *software* NHSBSP *BreastDose Software Versión 2.1*.

## C. Tomografías Computarizadas (TC)

En estos procedimientos se obtiene como magnitud dosimétrica el Producto de la dosis TC por la longitud (DLP). Los sistemas modernos digitales calculan estos valores automáticamente y aparecen en las cabeceras DICOM.

En caso de que los Servicios de FM y PR no tengan recogidos estos valores medios, se obtienen a partir de un muestreo aleatorio de 10 hombres y 10 mujeres por cada tipo de procedimiento de TC. Asimismo, se realiza la misma tarea para niños y niñas de 0, 1-5, 6-10 y 11-15 años.

Para el cálculo de dosis efectiva se tienen en cuenta los valores de factor de conversión propuesto por el Report 154.

## D. Radiología Intervencionista y Cardiología Intervencionista

Ambas técnicas suponen unas altas dosis de radiación en muchos casos, pero por el menor número de procedimientos anuales que se realizan si se comparan con el resto, suponen un menor porcentaje de aportación a la dosis colectiva poblacional.

Sin embargo, las hemos considerado en este proyecto. Para ello se determinan las dosis efectivas a partir del DAP y mediante el *software* PCXMC rotation.

Dada la gran cantidad de información a gestionar y la importancia que tiene el poder difundir los resultados de este proyecto se ha hecho necesario el uso de sistemas colaborativos que permitan coordinar y planificar todas las tareas a realizar. Por esta razón, se realizó un sistema basado en tecnologías web 2.0 y herramientas colaborativas que sirve de núcleo de comunicación entre los participantes y que permite mantener un control sobre la documentación generada y su inclusión en los sistemas informáticos (figura 1).

Esta plataforma se compone de dos partes diferenciadas. Por un lado, una

zona pública, en la que se puede acceder a información básica del proyecto así como a archivos de noticias, con un sistema de sindicación de contenidos que permite el seguimiento por parte de las autoridades nacionales e internacionales del estado del proyecto y de los avances que se van consiguiendo. Por otro lado, una zona privada en la que, aprovechando las ventajas colaborativas de la web 2.0, se han creado distintos foros de comunicación para los profesionales involucrados, que facilitan el intercambio de ideas así como la generación de nuevos conocimientos en el ámbito del proyecto. Todo esto se integra con tecnologías de publicación de documentación *online* que permiten la actualización en tiempo real de la información que se recoge de los sistemas estudiados a nivel nacional.

Actualmente, coexisten gran variedad de sistemas PACS (*Picture Archiving and Communication System*) y RIS (*Radiological Information System*) lo cual dificulta la estandarización tanto de los formatos como de las codificaciones de la ingente cantidad de información que hay que procesar. Por ello, ha sido necesario desarrollar un sistema informático que sea capaz de integrar toda la información a recopilar de las distintas fuentes, generando una plataforma de bases de datos (BD\_Dopoes) que unifique todos los códigos no estandarizados de los distintos sistemas RIS/PACS.

La Fase II se desarrolló desde febrero de 2012 hasta abril de 2012, en ella se llevó a la práctica todo el procedimiento antes detallado. Como banco de pruebas seleccionamos la ciudad de Málaga, dentro de la Comunidad de Andalucía. Se escogieron los dos hospitales de mayor porcentaje asistencial (90%). Asimismo se seleccionaron dos hospitales de la red privada en la misma ciudad.

En todos los centros citados se realizaron las siguientes actividades, incluyendo los análisis estadísticos correspondientes:

1. Recogida de datos basándonos en el sistema RIS/PACS y cabeceras DICOM.
2. Introducción de los valores en la base de datos creada a tal efecto.
3. Estimación de las dosis efectivas por cada procedimiento recogido.
4. Clasificación de los procedimientos dentro de los 20 procedimientos seleccionados.
5. Estimación de la dosis poblacional para la ciudad de Málaga.
6. Extrapolación de los datos a la Comunidad Autónoma de Andalucía.

Una vez estimada toda la información dosimétrica de la Comunidad Autónoma de Andalucía, se valoraron los posibles sesgos, incertidumbres y errores cometidos, proponiendo las medidas correctoras necesarias, tanto en la metodología, como en las herramientas informáticas creadas para ello.

En esta fase se desarrolló el correspondiente procedimiento para poder extrapolar los valores de una provincia al conjunto de la comunidad.

Una vez comprobado y verificado el procedimiento de extrapolación, la puesta a punto de la base de datos y del sistema de codificación, comenzó la Fase III, para obtener los datos en otras comunidades autónomas. A fecha de abril de 2013, ya hemos recopilado la información de las siguientes ciudades: Murcia (Comunidad Autónoma de la Región de Murcia), Badajoz (Comunidad de Extremadura), Ciudad Real (Comunidad de Castilla-La Mancha), Zaragoza (Comunidad de Aragón), Valladolid (Comunidad de Castilla y León), Madrid (Comunidad de Madrid) y Tenerife (Comunidad de Canarias).

Debido a la necesidad de aportar información al proyecto DDM2, se adelantó la Fase IV para poder cumplir con el compromiso adquirido con la Comisión Europea y junto con la información del proyecto Domnes se cumplió con ello.



Figura 1. Plataforma on-line del proyecto Dopes.

Una vez estimada toda la información dosimétrica esencial en estas comunidades autónomas de España, se han valorado los posibles sesgos, incertidumbres y errores cometidos, proponiendo las medidas correctoras necesarias, tanto en la metodología, como en las herramientas informáticas creadas para ello. Actualmente nos encontramos inmersos en la Fase V en la que completaremos la recogida de datos en las siguientes ciudades: Valencia (Comunidad Valenciana), Logroño (La Rioja), Pamplona (Comunidad Foral de Navarra), Vitoria (País Vasco), Mallorca (Islas Baleares), Barcelona (Cataluña), Oviedo (Principado de Asturias), Santander (Cantabria), La Coruña (Galicia) y las ciudades autónomas de Ceuta y Melilla.

La última parte del proyecto, la Fase VI, tiene prevista una extensión temporal desde diciembre de 2013 a marzo de 2014. En los últimos meses, se realizará la publicación final con los resultados del proyecto Dopes, dándole difusión tanto en la web creada para ello, como en imprenta, pidiendo la colaboración de las sociedades implicadas.

Por último, se obtendrá la información adicional y/o discusión con los responsables de los centros asistenciales

donde se hayan detectado resultados singulares o indicativos de situaciones especiales de dosis acumulada (ver el objetivo 7 del proyecto), proponiendo las medidas correctoras posibles.

### Metodología y estado actual del proyecto Domnes

Se ha seguido como referencia la metodología del proyecto DDM2 adaptándola a las características de la práctica de la medicina nuclear en España. El método de obtención de los datos ha sido mediante un cuestionario, para cuya elaboración se han predefinido una serie de factores:

— *Listado cribado y agrupado de los procedimientos diagnósticos de Medicina Nuclear*: se toma como modelo la lista de exámenes proporcionada por el DDM2 actualizada, y se coteja con el nomenclátor de la Sociedad Española de Medicina Nuclear e Imagen Molecular (SEM-NIM). Así se facilita la transmisión de datos al proyecto de la UE, y además permite descartar aquellas exploraciones diagnósticas cuya contribución a la dosis a la población sea marginal, ya sea por su baja frecuencia de realización, o por la dosis efectiva que produce, o por ambas razones.

— *Actividades medias administradas por cada exploración, obtenidas de referencias nacionales o internacionales:* esta información ha sido proporcionada por la SEMNIM e incluye tipos de exploraciones, actividades medias, radionucleidos y forma química de los radiofármacos dentro de cada subespecialidad.

La validación del cuestionario se realizó mediante un programa piloto en el que participaron 13 hospitales estratégicamente elegidos, los cuales recopilaban datos correspondientes a los primeros cuatro meses de 2012.

Posteriormente el estudio se dirigió al 100% de las instalaciones de medicina nuclear de España y a los Servicios de Protección Radiológica y Radiofísica, solicitando siempre la información relativa a los procedimientos diagnósticos realizados en 2011 (figura 2). La recogida de datos se llevó a cabo *online*, a través del desarrollo de una plataforma web en la oficina virtual del CSN.

Se establecieron criterios para determinar las frecuencias de las exploraciones según edad y sexo. Estas frecuencias se obtuvieron de la extrapolación de los datos recogidos por el grupo de trabajo en un estudio prospectivo llevado a cabo durante el primer trimestre de 2012. Estos datos se extrapolaron a un periodo de un año para obtener una estimación anual del número de exploraciones pediátricas junto con el número de exploraciones anuales en mujeres.

El grupo de trabajo realizó un seguimiento de los servicios de medicina nuclear asignados, para facilitar que la respuesta fuese la más amplia posible. Además, realizó un análisis de los resultados obtenidos, siguiendo los criterios definidos en el proyecto DDM2, para obtener datos sobre las exploraciones que más contribuyen en España a las dosis a la población, su frecuencia y su impacto según edad y sexo.

**Tabla 1. Resumen de valores de frecuencia y dosis para el TOP 20**

"TOP 20" RP154	Número total por año	Frecuencia anual por 1.000 hab.	Dosis efectiva media por examen (mSv)	Dosis efectiva colectiva anual (Sv-persona)	Dosis efectiva colectiva anual por 1.000 hab. (mSv)
Tórax	14.856.545	315,96	0,06 ± 0,02	891,39	18,96
Columna cervical	1.920.355	40,84	0,09 ± 0,03	172,83	3,68
Columna dorsal	1.604.915	34,13	0,23 ± 0,08	369,13	7,85
Columna lumbar	3.072.441	65,34	0,89 ± 0,25	2.734,47	58,15
Mamografía	3.771.370	80,21	0,28 ± 0,06	1.055,98	22,46
Abdomen	2.190.744	46,59	0,69 ± 0,26	1.511,61	32,15
Pelvis y cadera	2.540.549	54,03	0,55 ± 0,18	1.397,30	29,72
Gastroduodenal	178.303	3,79	4,93 ± 1,63	879,03	18,69
Enema opaco	121.334	2,58	8,25 ± 2,84	1.001,01	21,29
Tránsito intestinal	48.891	1,04	7,68 ± 2,48	375,48	7,99
Urografía intravenosa	151.562	3,22	2,5 ± 0,94	378,91	8,06
Angiografía cardíaca	68.201	1,45	4,88 ± 2,11	332,82	7,08
TC cabeza	1.058.427	22,51	1,97 ± 0,69	2.085,10	44,34
TC cuello	221.752	4,72	1,83 ± 0,72	405,81	8,63
TC tórax	874.342	18,59	4,43 ± 1,89	3.873,34	82,37
TC columna	490.908	10,44	8,92 ± 3,14	4.378,90	93,13
TC abdomen	711.896	15,14	10,01 ± 2,96	7.126,08	151,55
TC pelvis	383.688	8,16	7,77 ± 2,49	2.981,26	63,40
TC tronco	436.490	9,28	15,78 ± 4,16	6.887,81	146,48
PTCA	61.192	1,30	19,2 ± 6,3	1.162,65	24,73

## Resultados Dopoes

Desde la puesta en marcha del proyecto Dopoes, y con el fin de poder dar respuesta a la información requerida por el proyecto DDM2, hemos recogido información de frecuencia y dosis correspondientes al año 2010, para un

total de 12 centros hospitalarios públicos y privados de las comunidades autónomas de Andalucía, Murcia, Extremadura, Aragón y Castilla-La Mancha. La población analizada supone aproximadamente el 40% de la población total de España.



Figura 2. Cuestionario a completar por los servicios de Medicina Nuclear de España.

Dado que la dosis impartida a los pacientes en exámenes radiológicos está influenciada por numerosas variables, como la técnica utilizada, las características del equipo (geometría, filtración, sistema detector, etcétera), la zona anatómica del paciente que es irradiada, y el tipo de examen radiológico, es importante poder minimizar la incertidumbre en la estimación de dosis por procedimientos. Para ello hemos recopilado la información mediante un muestreo aleatorio de al menos 20 casos, 10 hombres y 10 mujeres, para cada uno de los procedimientos establecidos en Dopoes y para cada uno de los equipos de los centros hospitalarios seleccionados.

Como hemos indicado en el apartado anterior, hemos desarrollado una potente base de datos para poder gestionar la información procedente de los sistemas RIS/PACS. Para cada uno de estos sistemas (Siemens, General Electric, Philips, SERAM, etc.) se emplea una codificación de los procedimientos distinta. Por ello, hemos creado una codificación propia que unifica la información en un formato estándar único denominado RIS/PACS Dopoes, el cual actualmente está en su versión 12.3, con más de 470 procedimientos codificados incluidos. Este formato va evolucionando en función de los nuevos sistemas que se van acoplando en las diferentes fases del proyecto, de forma que se enriquece con toda la codificación existente a nivel nacional. También se ha creado un sistema centralizado en el que todas las bases de datos confluyen para generar la Base de Datos Dopoes (BD\_Dopoes). Este conjunto de valores se ha agrupado, siguiendo la recomendación del documento RP 154, en el denominado “TOP 20”, que son los procedimientos que contribuyen a la frecuencia total entre el 50 y el 70% y a la dosis efectiva colectiva entre el 70-90%.

En esta fase del proyecto se ha recogido información cercana a los 10

**Tabla 2. Codificación correspondiente al TC cabeza del TOP 20**

Lista TOP 20	Código Dopoes	Descripción
TC cabeza	CTCRANE	TC CRANEAL
TC cabeza	CTPERFU	PERFUSIÓN CRANEAL CON TC
TC cabeza	CTORBIT	TC ORBITAS
TC cabeza	CTMAST	TC MASTOIDES
TC cabeza	CTANGMAST	ANGIO-TC MASTOIDES
TC cabeza	CTPEÑAS	TC PEÑASCOS
TC cabeza	CTANGPEÑAS	ANGIO-TC PEÑASCOS
TC cabeza	CTATM	TC ATM
TC cabeza	CTHIPOF	TC HIPÓFISIS
TC cabeza	CTCARA	TC CARA
TC cabeza	CTANGCARA	ANGIO-TC CARA
TC cabeza	CTDENTA	DENTASCAN SIMPLE
TC cabeza	CTFOSA	TC SELECTIVA FOSA POSTERIOR
TC cabeza	CTANGPW	ANGIO-TC CRANEAL (P. de Willis)
TC cabeza	CTFACSPN	TC FACIAL/SENOS PARANASALES
TC cabeza	CTANGFACSPN	TC ANGIO-FACIAL/SENOS PARANASALES
TC cabeza	CTCAI	TC CENTRO AUDITIVO INTERNO
TC Cabeza	CTCABCUE	TC CABEZA CUELLO
TC cabeza	CTANGFONA	ANGIO-TC FOSAS NASALES
TC cabeza	CTBUCAL	TC BUCAL

millones de exploraciones, con lo que se puede hacer una idea de la magnitud del sistema desarrollado. Además, debido a la dificultad de análisis de los datos suministrados por las diferentes entidades sanitarias colaboradoras, se han aplicado diferentes métodos de clasificación y regulación de los datos en función de pirámides poblacionales y procedimientos automáticos. Para ello se han creado una serie de programas que recorren todos los datos relativos a las dosis registradas en un hospital concreto y catalogan e indexan la información de forma automática. Asimismo se están aplicando metodologías que analizan cómo realizar, si procede, la imputación de datos ausentes en los conjuntos suministrados por las diferentes fuentes.

En la tabla 1 se muestran los datos más relevantes, tanto en frecuencia como

en valores de dosis, según el TOP 20, para el conjunto de datos analizados dentro del proyecto Dopoes y extrapolados a la totalidad de la población de España. Se muestra el número total de procedimientos por año, la frecuencia anual por 1.000 habitantes, el valor de la dosis efectiva (mSv) por examen, acompañado por la incertidumbre, el valor de dosis efectiva colectiva anual (Sv-persona) y la dosis efectiva colectiva anual por 1.000 habitantes (mSv).

Como ejemplo del criterio seleccionado para llegar a cada uno de los TOP, mostramos en la tabla 2 el detalle del TOP correspondiente a tomografía computarizada de cabeza, que está conformado por un total de 21 exploraciones con sus códigos Dopoes y la descripción de la exploración.

En las figuras 3 y 4 se pone de manifiesto la distribución de la frecuen-

Tabla 3. Dosis efectiva por exploración de Medicina Nuclear en España

Examen	Radio-nucleido	Forma química	Número de exámenes (adultos)	Actividad media por examen (MBq)	Factor de conversión (mSv/MBq)	Dosis efectiva por examen (mSv)	Dosis efectiva colectiva (Sv-persona)
1 Estudio óseo de cuerpo completo	<sup>99m</sup> Tc	Fosfatos y fosfonatos	262.907	771	5,70 E-03	4,3947	1155,397393
2 Perfusion miocárdica	<sup>201</sup> Tl	Cloruro	0	0	2,20E-01	0	0
3 Perfusion miocárdica en reposo	<sup>99m</sup> Tc	Tetrofosmin	43.618	742	7,60E-03	5,6392	245,9706256
4 Perfusion miocárdica tras estimulación	<sup>99m</sup> Tc	Tetrofosmin	49.026	701	7,00E-03	4,907	240,570582
5 Perfusion miocárdica en reposo	<sup>99m</sup> Tc	MIBI	4.974	804	9,00E-03	7,236	35,991864
6 Perfusion miocárdica tras estimulación	<sup>99m</sup> Tc	MIBI	5.483	718	7,90E-03	5,6722	31,1006726
7 Perfusion miocárdica (PET)	<sup>18</sup> F	FDG	0	0	1,90E-02	0	0
8 Perfusion miocárdica (PET)	<sup>15</sup> O	H <sub>2</sub> O	0	0	9,30E-04	0	0
9 Estudio tumoral (PET)	<sup>18</sup> F	FDG	0	0	1,90E-02	0	0
10 Estudio tumoral (PET) + Diagnostico con TC	<sup>18</sup> F	FDG	63.961	336	1,90E-02	6,384	408,327024
11 Metástasis tiroideas (después de ablación. Captación tiroidea 0%)	<sup>131</sup> I	Yoduro	7.412	178	6,10E-02	10,858	80,479496
12 Estudio tiroideo (administracion oral)	<sup>99m</sup> Tc	Pertecnato	44.507	202	1,40E-02	2,828	125,865796
13 Estudio tiroideo (captación tiroidea 35%)	<sup>123</sup> I	Yoduro	0	0	2,20E-02	0	0
14 MUGA, flujo cardiaco (equilibrio)	<sup>99m</sup> Tc	DTPA	0	0	4,90E-03	0	0
15 MUGA, flujo cardiaco (equilibrio)	<sup>99m</sup> Tc	Eritrocitos marcados con Tc	17.013	787	7,00E-03	5,509	93,724617
16 Estudio de transporte de dopamina (parkinsonismo)	<sup>123</sup> I	β-CIT	0	0	5,00E-02	0	0
17 Estudio de transporte de dopamina (parkinsonismo)	<sup>123</sup> I	Loflupane (DaTscan)	15.967	186	2,40E-02	4,464	71,276688
18 Perfusion pulmonar	<sup>99m</sup> Tc	MAA	19.667	208	1,10E-02	2,288	44,998096
19 Tumores neuroendocrinos receptores de somatostatina	<sup>111</sup> In	Pentetreotide (OctreoScan)	6.017	156	1,20E-01	18,72	112,63824
20 Estudio renal	<sup>99m</sup> Tc	DMSA	16.003	136	8,80E-03	1,1968	19,1523904
21 Estudio renal	<sup>99m</sup> Tc	MAG 3	16.345	158	7,00E-03	1,106	18,07757
22 Estudio renal	<sup>99m</sup> Tc	DTPA	4.244	220	4,90E-03	1,078	4,575032
23 Estudio de las glándulas paratiroides	<sup>99m</sup> Tc	MIBI	14.002	697	9,00E-03	6,273	87,834546
24 Cerebral (flujo de sangre)	<sup>99m</sup> Tc	Exametazime (HMPAO, Ceretec)	16.731	734	9,30E-03	6,8262	114,2091522
25 Cerebral (flujo de sangre)	<sup>99m</sup> Tc	ECD (Neurolite)	0	0	2,20E-03	0	0
26 Estudio de infecciones / inflamaciones	<sup>67</sup> Ga	Citrato de galio	10.280	230	1,00E-01	23	236,44
27 Estudio de infecciones / inflamaciones	<sup>99m</sup> Tc	Leucocitos marcados con Tc	10.765	372	1,10E-02	4,092	44,05038
28 Estudio de infecciones / inflamaciones	<sup>99m</sup> Tc	Anticuerpos monoclonales (LeucoScan)	0	0	8,00E-03	0	0

\*) Los factores de conversión usados para la mayoría de los radiofármacos se han tomado de la publicación ICRP 80. Cuando no se incluyen en esa publicación se han tomado de las especificaciones de producto suministradas por los fabricantes.

cia y de la dosis asignada a cada uno de los grupos en los que hemos considerado las distintas exploraciones radiológicas.

Del análisis de estas figuras destaca el gran peso que tiene sobre la dosis colectiva la aportación de las exploraciones mediante TC. Parte de los nuevos mode-

los de equipos de TC incorporan tecnología multicorte, utilizan versiones avanzadas de *software* de reconstrucción y tratamiento de la imagen, amplían su campo

Figura 3. Dosis efectiva para los principales grupos de procedimientos de radiodiagnóstico (mSv/per caput)

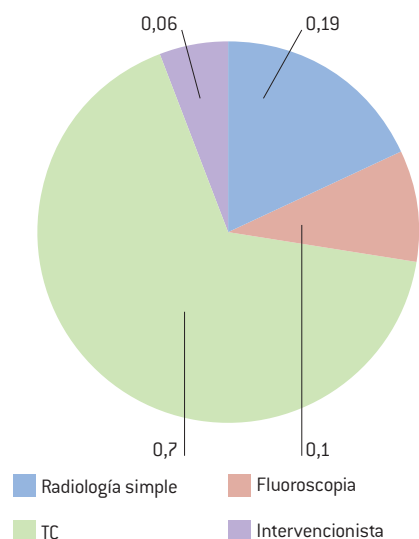


Figura 4. Frecuencia de los procedimientos de radiodiagnóstico por 1.000 habitantes

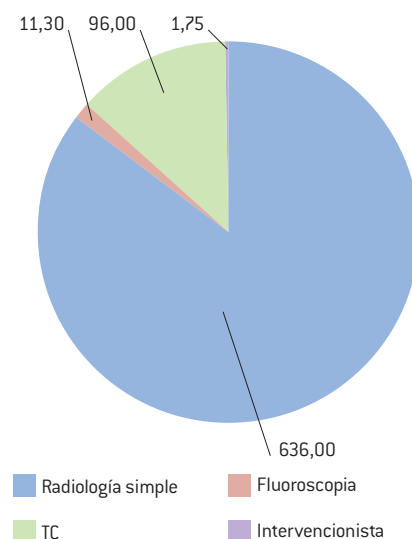


Figura 5. Evolución temporal del número de CT

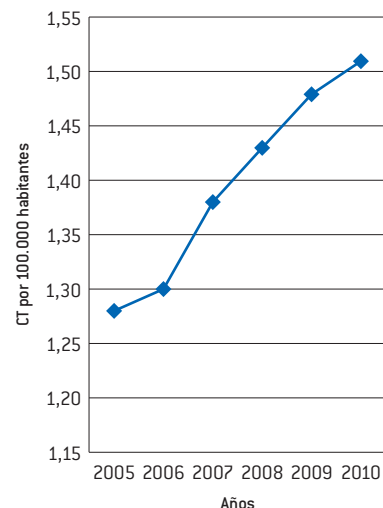


Figura 6. Distribución de frecuencias de procedimientos de medicina nuclear

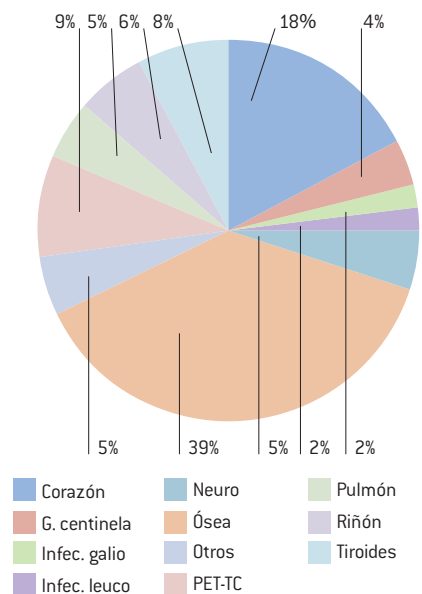


Figura 7. Distribución de dosis en exploraciones más representativas de medicina nuclear

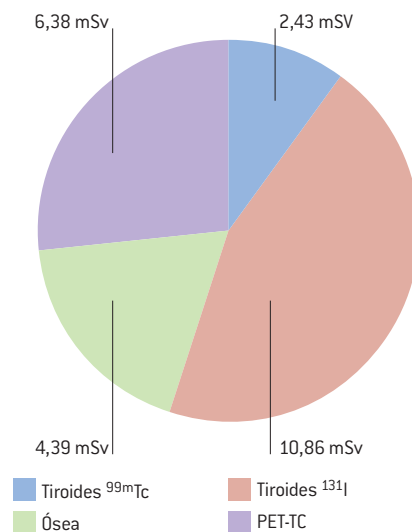
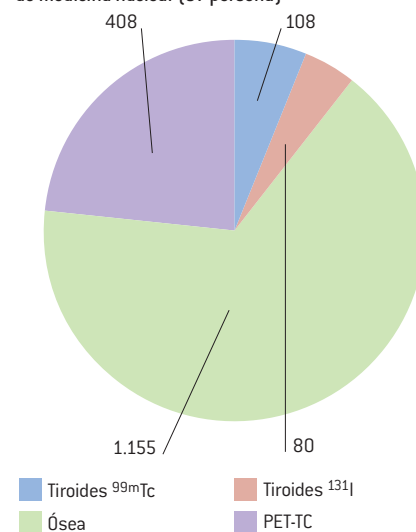


Figura 8. Distribución de las dosis colectivas en exploraciones más representativas de medicina nuclear (Sv-persona)



de aplicación a nuevas áreas de la medicina y permiten modos de funcionamiento de ahorro de dosis. Pese a ello, nos encontramos que el incremento del número de equipos de TC en funcionamiento y del número de exámenes realizados con fines diagnósticos hacen que la contribución a la dosis efectiva colectiva sea muy elevada y su evolución deba ser conocida. Como ejemplo se muestra en la figura 5 la evolución del número de TC en España en los cinco años anteriores a 2010.

La dosis efectiva *per caput* para radiodiagnóstico médico se ha estimado en  $1,08 \pm 0,23$  mSv una vez aplicados los correspondientes factores de corrección al TOP 20. Este valor es similar a los de los países de nuestro entorno. El valor promedio en Europa está en torno a 1 mSv *per caput*.

### Resultados Domnes

En el mes de octubre de 2012, se remitió a DDM2 la información recopilada en

cada una de las instalaciones radiactivas de medicina nuclear españolas. La participación de estas instalaciones ha correspondido a alrededor del 80% de las mismas. En la tabla 3 se recogen estos resultados, los cuales son acordes con los de países de nuestro entorno. Estos valores corresponden a un número total de 629.000 exploraciones de medicina nuclear diagnóstica.

En la figuras 6, 7 y 8 se recogen los datos de distribución de frecuencias y


dosis de procedimientos de medicina nuclear correspondientes al proyecto.

## Conclusiones

— Se están realizando unos proyectos ambiciosos para conocer la frecuencia y las dosis recibidas por exploraciones de radiodiagnóstico médico y medicina nuclear diagnóstica en España.

— Los valores obtenidos hasta el momento muestran que la dosis colectiva es similar a la de los países de nuestro entorno.

— Se han desarrollado herramientas que posibilitarán realizar estimaciones de dosis en los próximos años para conocer la evolución temporal de las mismas.

— Con los resultados obtenidos hasta la fecha en los proyectos Dopoes y Domnes, el valor de la dosis efectiva *per caput* en España por procedimientos médicos de radiodiagnóstico más medicina nuclear es de 1,15 mSv. 

## REFERENCIAS

- BEIR Committee (2006) Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation.
- DICOM (2006) Diagnostic x-ray radiation dose reporting (Dose SR). Supplement 94. (Rosslyn, Virginia: National Electrical Manufacturers Association, NEMA).
- EC (2008). “European Guidance on Estimating Population Doses from Medical X-Ray Procedures.” Radiation Protection 154.
- European Commission. (1997) Council Directive 97/43/EURATOM of 30 June 1997 on health protection of individuals against the dangers of ionizing radiation in relation to medical exposure. Official Journal of the European Communities, L 180, Vol 40, 22-27.
- European Guidelines for Multislice Computed Tomography. ([http://www.msct.eu/CT\\_Quality\\_Criteria.htm](http://www.msct.eu/CT_Quality_Criteria.htm))
- González, Abel Julio; Ruiz-Cruces, Rafael (2006). Optimizing the radiological protection of patients: international developments. *Radio-proteccion*. 49: 229-233.
- Hart D and Wall BF. (2002) Radiation exposure of the UK population from medical and dental x-ray examinations. NRPB-W4 (Chilton, UK: National Radiological Protection Board).
- Hart D, Hillier MC and Wall BF. (2007) Doses to Patients from Radiographic and Fluoroscopic X-ray Imaging Procedures in the UK – 2005 Review. HPA-RPD-029, (HPA, Chilton).
- Hart D, Jones DG and Wall BF. (1994b) Normalised organ doses for medical x-ray examinations calculated using Monte Carlo techniques. NRPB-SR262 (Chilton, UK: National Radiological Protection Board).
- Hart D, Jones DG and Wall BF. (1996a) Coefficients for estimating effective dose from pediatric x-ray examinations. NRPB-R279 (Chilton, UK: National Radiological Protection Board).
- Hart D, Jones DG and Wall BF. (1996b) Normalised organ doses for pediatric x-ray examinations calculated using Monte Carlo techniques. NRPB-SR279 (Chilton, UK: National Radiological Protection Board).
- Hart D, Jones DG and Wall BF. (1994a) Estimation of effective dose in diagnostic radiology from entrance surface dose and dose-area product measurements. NRPB- R262 (Chilton, UK: National Radiological Protection Board).
- ICRP (1991) The 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60, Annals of the ICRP, Vol 21, No. 1-3.
- ICRP (2007) Radiological Protection in Medicine, Annals of the ICRP, Vol 37, No. 6. Pages 1-64.
- ICRP (2007) The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103, Annals of the ICRP, Vol 37, No. 2-4. Pages 1-332.
- ICRU (2005) Patient Dosimetry for X Rays used in Medical Imaging. ICRU Report 74, Journal of the ICRU, Vol 5, No 2 (Oxford University Press).
- CTDosimetry software version 1.0.2 (2007) IMPACT Medical Physics Department, St. George’s Healthcare NHS Trust London, UK.
- Jones DG and Shrimpton PC. (1991) Survey of CT Practice in the UK. Part III: Normalised Organ Doses Calculated Using Monte Carlo Techniques. NRPB-R250 (Chilton, UK: National Radiological Protection Board).
- Jones DG and Shrimpton PC. (1993) Normalised Organ Doses for X-ray Computed Tomography Calculated Using Monte Carlo Techniques. NRPB-SR250 (Chilton, UK: National Radiological Protection Board).
- NHSBSP Breast Dose Software Version 2.1 (2009). NCCPM, Medical Physics, Royal Surrey County Hospital, Egerton Road, Guildford, UK.
- Pérez Martínez, M; Ruiz Cruces, et al (1997). Organ doses, detriment and genetic risk from Simple X-ray examinations in Malaga (Spain). *European Journal of Radiology*. 25 (1): 55-61.
- Ruiz-Cruces, R; Pérez Martínez, M; et al (1997). Patient dose in radiologically guided interventional vascular procedures: conventional versus digital systems. *Radiology*. 205 (1): 385-393.
- Ruiz-Cruces, R; Pérez Martínez, M; et al (2000). Organ doses, detriment and population risk from interventional vascular procedures in Malaga (Spain). *European Journal of Radiology*. 33 (1): 14-23.
- Ruiz-Cruces, R; Pérez Martínez, M; et al (2000). Stochastic risk estimate for barium radiological examinations in Malaga (Spain). *Physics in Medicine and Biology*. 45 (1): 241-252.
- Bly R, Jahnen A, Järvinen H, Olerud H, Vasileva J and Vogiatzi S: European population dose from radiodiagnostic procedures – early results of Dose Datamed 2, NSFS Conference, Reykjavík, August 22-25, 2011.
- Tapiovaara M, Lakkisto M and Servomaa A. (1997) PCXMC – A PC Based Monte Carlo for Calculating Patient Doses in Medical X-ray Examinations. Report STUK-A139. (Helsinki: Finnish Centre for Radiation and Nuclear Safety (STUK)).
- UNSCEAR (2000) Sources and Effects of Ionising Radiation, Vol 1: Sources, Annex D: Medical Radiation Exposures.
- Vano, E, Sanchez, R; Fernández, JM et al (2009) Patient dose reference levels for interventional radiology: a national approach. *CardiovascInterventRadiol*. 32(1):19-24.
- Wall BF. (2004) Radiation Protection Dosimetry for Diagnostic Radiology Patients. *Radiation Protection Dosimetry* 109(4):409-19.



## El CSN informa sobre las condiciones asociadas al cese de explotación de Garoña

El pasado 3 de junio, el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) informó favorablemente al Ministerio de Industria, Energía y Turismo (Minetur) sobre los límites y condiciones de seguridad a los que debe ajustar sus actividades la central nuclear Santa María de Garoña, tras el cese de su actividad, el 6 de julio de 2013.

Dado que el 3 de enero de 2013, el Minetur solicitó informe preceptivo en relación con el cese definitivo de explotación de la central nuclear Santa María de Garoña a petición del titular, Nuclenor S. A., por razones ajenas a la seguridad nuclear, comunicado el 28 de diciembre de 2012 y siendo la fecha límite de emisión de este informe el 6 de junio del presente año, el CSN aprobó los límites y condiciones de seguridad nuclear y protección radiológica que han de aplicar a dicha declaración de cese de explotación y que han sido establecidos teniendo en cuenta los riesgos asociados a la situación de parada definitiva de esta instala-

ción nuclear y las actividades a desarrollar a partir del 6 de julio de 2013 y hasta la obtención de la correspondiente autorización de desmantelamiento.

Según establece el artículo 38 bis de la Ley 25/1964 de Energía Nuclear, el desmantelamiento y clausura de las instalaciones nucleares constituye un servicio público esencial que se reserva a la titularidad del Estado, estando previsto que la autorización de desmantelamiento sea presentada por la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, S. A. (Enresa).

Santa María de Garoña, situada en el margen izquierdo del río Ebro en la mancomunidad de municipios del Valle de Tobalina, inició su funcionamiento el 30 de octubre de 1970. Su funcionamiento se basa en un sistema nuclear de producción de vapor formado por un reactor de agua ligera en ebullición, del tipo BWR-3, y recinto de contención del tipo Mark-1, suministrado por la empresa norteamericana General Electric Company. ▶

## Seminario de la NEA sobre ‘Retos y mejoras de la defensa en profundidad tras el accidente de Fukushima Dai-ichi’

La Agencia de la Energía Nuclear (NEA) de la OCDE, celebró en París, a principios de junio, el seminario *Retos y mejoras de la defensa en profundidad tras el accidente de Fukushima Dai-ichi*. En la inauguración, el director general de la NEA, Luis Echávarri, subrayó la necesidad de seguir reforzando la cooperación internacional, la importancia de incrementar los recursos designados a mejorar los factores humanos, de organización y de comunicación en materia de seguridad.

Durante el encuentro se analizaron los aspectos más importantes que pue-

den servir para mejorar la defensa en profundidad en las instalaciones nucleares, como el equilibrio entre la prevención y la mitigación de posibles accidentes y el impacto en las centrales nucleares de fenómenos naturales extremos. El concepto de “defensa en profundidad” se corresponde con el despliegue jerárquico, a diferentes niveles, de distintas barreras, que actuando de forma coordinada y superpuestas, tienen como objetivo minimizar la posibilidad de ocurrencia de un evento o sus consecuencias. ▶

## El CSN participa en la reunión de INRA en Japón

El presidente del Consejo de Seguridad Nuclear, Fernando Marti Scharfhausen, participó en Tokio (Japón), durante los días 6 y 7 de mayo, en la reunión que celebró la Asociación Internacional de Reguladores Nucleares (INRA), integrada

por los organismos reguladores de los nueve países del mundo con más experiencia en el licenciamiento de actividades nucleares (Alemania, Canadá, Corea del Sur, España, Estados Unidos, Francia, Japón, Reino Unido y Suecia). Durante el encuentro se presentaron los informes nacionales y se intercambiaron reflexiones sobre las



lecciones aprendidas por el accidente de Fukushima Dai-ichi y los nuevos estándares de seguridad para las centrales nucleares.

El presidente del CSN enumeró los retos que se afrontarán a lo largo del mandato del nuevo Pleno, como la situación de la central nuclear Santa María de Garoña y el modelo de gestión del combustible gastado en España, especialmente el proyecto del futuro Almacén Temporal Centralizado (ATC), y detalló las actividades internacionales más relevantes del CSN. ▶

## II Conferencia Europea de Seguridad Nuclear en Bruselas

Bruselas acogió, el pasado 11 de junio, la II Conferencia Reguladora de Seguridad Nuclear en Europa, organizada por el Grupo Europeo de Reguladores de Seguridad Nuclear (ENSREG) y presidida por el responsable del organismo regulador esloveno, Andrej Stritar. El tema principal de la conferencia fueron las lecciones aprendidas del accidente de Fukushima Dai-ichi.

El presidente del CSN, Fernando Marti Scharfhausen, participó en la primera sesión de la conferencia, dedicada a abordar el desarrollo y puesta en

marcha de los Planes de Acción Nacionales establecidos y coordinados por la Unión Europea. En su presentación, destacó que la transparencia “es un compromiso del CSN con la sociedad” y así se traslada en la práctica mediante la alimentación diaria de contenidos de la página web del regulador español. También acudieron a la reunión la vicepresidenta, Rosario Velasco y el consejero Antoni Gurguí, así como representantes de diversas entidades españolas implicadas en el sector de la seguridad nuclear. ▶

## Reunión en Madrid del Foro Iberoamericano

Durante los días 6 y 7 de junio se celebró la reunión plenaria del Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y Nucleares en la sede del Consejo de Seguridad Nuclear. Participaron, además de España, que ostentaba la presidencia y actuaba como país anfitrión, responsables de los organismos reguladores de Argentina, Brasil, Chile, Cuba, México, Perú y Uruguay.

El objetivo del encuentro se centró en conocer e intercambiar las mejores prácticas llevadas a cabo por los organismos reguladores iberoamericanos así como debatir sobre las estrategias y acciones de futuro. Para concluir la reunión, el presidente del organismo regulador español traspasó la presidencia del Foro, que tiene carácter rotativo anual, a México. ▶

## El consejero de la NRC George Apostolakis visita el Consejo de Seguridad Nuclear

George Apostolakis, consejero de la Nuclear Regulatory Commission (NRC) estadounidense, visitó a finales de mayo el Consejo de Seguridad Nuclear, dentro del marco de las reuniones bilaterales entre ambos organismos y en cumplimiento del deseo expresado por Apostolakis en marzo con motivo de la XXV Conferencia de Información Reguladora (RIC), celebrada en Washington.

En la reunión se abordaron temas relativos a la gestión del riesgo en el ámbito de los organismos reguladores nucleares, los Análisis Probabilistas de Seguridad —tema de especial interés para George Apostolakis— el Sistema de Supervisión de Centrales Nucleares (SISC) y el Plan de Acción Nacional de mejora de la seguridad, derivado de las lecciones aprendidas tras el accidente de Fukushima. Además, técnicos del Consejo expusieron las actividades presentes y las perspectivas de futuro en materia de cultura de seguridad. Por último, se realizó una visita guiada por la Sala de Emergencias del Consejo y el Centro de Información del organismo. ▶

## Conferencia Internacional sobre Eficiencia Reguladora Nuclear, organizada por el OIEA



La vicepresidenta del Consejo de Seguridad Nuclear, Rosario Velasco, asistió en abril a la Conferencia Internacional sobre Eficiencia Reguladora Nuclear, organizada en Ottawa (Canadá) por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). En esta tercera edición de la conferencia (las anteriores tuvieron lugar en Moscú, en 2006, y en Ciudad del

Cabo, en 2009) se abordaron diversos aspectos de importancia para la regulación nuclear a nivel internacional. El objetivo del encuentro es revisar y evaluar la forma de mejorar la eficacia de los sistemas reguladores para las instalaciones y actividades, teniendo en cuenta las lecciones aprendidas del accidente de Fukushima Dai-ichi (Japón).

Velasco participó en el panel sobre gestión de emergencias y destacó la necesidad de fomentar diariamente la independencia, transparencia, neutralidad, eficiencia y eficacia, para aumentar la confianza social en los organismos reguladores, porque en casos de emergencia, esta resulta crucial. ▶

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



La quinta reunión del Comité Asesor para la Información y la Participación Pública del Consejo de Seguridad Nuclear, y primera que se celebra tras la renovación de los miembros del Pleno del CSN y de las direcciones técnicas, tuvo lugar el 23 de mayo en la sede del organismo regulador.

Desde el organismo se informó a los miembros del Comité sobre la reciente aprobación del Plan Nacional sobre mejoras de seguridad relacionadas con

las pruebas de resistencia a las centrales nucleares españolas, el proceso de revisión en curso de los planes de emergencia nuclear y la planificación del simulacro de emergencia exterior que se desarrollará el próximo otoño en la central nuclear de Almaraz (Cáceres), además de informar sobre el resultado de su actividad en el ámbito de la información y comunicación. Del mismo modo, se expusieron también las actuaciones llevadas a cabo en respuesta a las cuatro recomendaciones realizadas por el Comité el pasado año.

El Comité Asesor está integrado por representantes de las administraciones públicas, tanto de carácter estatal como autonómico y local, de la sociedad civil, de los sindicatos y de las empresas reguladas por el CSN. ▶

## Principales acuerdos del Pleno

### ■ **Traslado de residuos de José Cabrera al centro de investigación sueco de Nyköping**

El Pleno del Consejo, en su reunión del 24 de abril, aprobó por unanimidad informar favorablemente la autorización de traslado de ocho piezas metálicas activadas, procedentes de la vasija del reactor de la central nuclear José Cabrera, desde el emplazamiento de esta hasta el centro de investigación de Studsvik Nuclear AB, en Nyköping (Suecia), condicionada a la concesión de la autorización de transporte *bajo arreglos especiales*, que ha sido solicitada por Enresa ante el Ministerio de Industria, Energía y Turismo.

El traslado está conforme con lo establecido en el artículo 12 del Real Decreto 243/2009, de 27 de febrero, por el que se regula la vigilancia y control de transporte de residuos radiactivos y combustible nuclear gastado entre Estados miembros o procedentes o con destino al exterior de la Unión Europea. El traslado está motivado por la realización de un proyecto de investigación internacional denominado Zorita Internals Research Project (ZIRP), en el que participa el CSN, entre otros organismos, con el propósito de analizar el comportamiento de los materiales utilizados en los componentes internos de centrales nucleares de agua ligera.

### ■ **Modificación de diseño de la purga y aporte del primario de la central nuclear de Trillo**

Reunido el Pleno del Consejo el 29 de mayo, aprobó por unanimidad informar favorablemente la solicitud de puesta en marcha de la modificación de diseño de la purga y aporte del primario y de la correspondiente propuesta de modificación de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento y del Estudio de Seguridad de la central nuclear de Trillo, que constituyen la revisión nº 61. La aprobación está condicionada a que una empresa independiente, especialista en la materia, realice un análisis del proceso de generación de esta solicitud y presente los resultados al CSN antes del próximo 30 de noviembre. Tales resultados incluirán un Plan de Acción para prevenir deficiencias similares en el futuro.

La modificación tiene por objeto posibilitar la apertura de la válvula de alivio y las dos de seguridad del presionador en caso de accidente con pérdida total de agua de alimentación a los generadores de va-

por o pérdida total de corriente alterna, de forma que se proteja el circuito primario frente a sobrepresiones. La modificación consiste en instalar nuevos circuitos de control para las tres válvulas indicadas.

### ■ **Condiciones asociadas a la declaración de cese de explotación de Garoña**

El 3 de junio, el Pleno del CSN aprobó por unanimidad informar favorablemente la declaración de cese definitivo de la explotación de la central nuclear de Santa María de Garoña, así como la aprobación de las Instrucciones Técnicas Complementarias propuestas por la Dirección de Seguridad Nuclear, asociadas a la autorización ministerial, que serán emitidas en el momento oportuno del trámite resolutorio.

El CSN emitió una Instrucción Técnica Complementaria en la que requería a Nuclenor, titular de la central, que presentase la propuesta de los documentos oficiales de explotación en situación de parada, antes del día 6 de noviembre de 2012. Estos documentos regulan las actividades del titular a la espera de la autorización de desmantelamiento y entre ellos se incluyen los siguientes:

- a) Estudio de Seguridad en Parada, ESP
- b) Reglamento de Funcionamiento en Parada, RFP
- e) Especificaciones Técnicas en Parada, ETP
- d) Plan de Emergencia Interior en Parada, PEIP
- e) Manual de Garantía de Calidad en Parada,
- f) Manual de Protección Radiológica en Parada, MPRP
- g) Plan de Gestión de Residuos Radiactivos y del combustible gastado, PGRRCG
- i) Análisis probabilista de seguridad en la situación de cese de explotación

### ■ **VI Informe Nacional a la Convención de Seguridad Nuclear**

El 19 de junio, el Pleno del Consejo aprobó por unanimidad el VI Informe Nacional a la Convención de Seguridad Nuclear, Borrador 1. Esta convención entró en vigor en 1996 y su objeto primordial es la consecución y mantenimiento de un alto grado de seguridad nuclear a nivel mundial, a través de las diversas mejoras nacionales y de la cooperación internacional. Requiere a los países miembros la presentación de un informe sobre las medidas adoptadas para dar cumplimiento a las obligaciones de la Convención, que es revisado por los demás países miembros en las reuniones de examen que se celebran cada tres años. ©

Información correspondiente al  
I trimestre de 2013

ARCHIVO / CN ASCÓ



## Centrales nucleares

### Almaraz I y II

Número de sucesos (nivel INES)

— 6 (INES 0)

Paradas no programadas

— 4

Número de inspecciones del CSN

— 6

Actividades

— Durante este trimestre la central ha operado a plena potencia, con la interrupción de las cuatro paradas no programadas y con una reducción de potencia hasta el 83%, a partir del día 29 de marzo y hasta final del periodo, por demanda de reducción del sistema eléctrico a petición del despacho de cargas.

### Ascó I y II

Número de sucesos (nivel INES)

— 1 en Ascó I (INES 0)

— 1 en Ascó II (INES 0)

Paradas no programadas

— 0 (Ascó 1)

Número de inspecciones del CSN

— 10

Actividades

— La unidad I estuvo operando al 100% de potencia nuclear hasta el 29 de marzo, en que bajó al 95% a petición del despacho delegado, permaneciendo en dichas condiciones hasta fin de mes.

— La unidad II estuvo operando todo el trimestre al 100% de potencia nuclear.

Ambas unidades notificaron un suceso el 6 de marzo, por posicionamiento de la válvula VCT-0144 no definido durante prueba.

— El CSN ha informado favorablemente la modificación de diseño de la grúa del edificio de combustible de la unidad II.

### Cofrentes

Número de sucesos (nivel INES)

— 0 (INES 0)

Paradas no programadas

— 0

Número de inspecciones del CSN

— 2

Actividades

— Durante el primer trimestre de 2013 la central se mantuvo funcionando de manera estable en operación a potencia, con bajadas parciales superiores a un 10% el 18 de febrero, para extraer una barra de control; el 2 de marzo, para cambio de secuencia de barras de control; y el 29 de marzo, a petición del despacho central de generación.

— El Pleno del CSN apreció favorablemente el plan de acción relativo a la curva de temperatura de piscina de supresión para la inyección de boro (BIIT) de la central.

### Santa María de Garoña

Número de sucesos (nivel INES)

— 0 (INES 0)

Paradas no programadas

— 0

Número de inspecciones del CSN

— 3

Actividades

— La central inició el 16 de diciembre una parada programada para descargar todo el combustible desde el núcleo hasta la piscina de combustible gastado y así ha permanecido todo el trimestre.

### Trillo

Número de sucesos (nivel INES)

— 2 (INES 0)

Paradas no programadas

— 0

Número de inspecciones del CSN

— 7

Actividades

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

— El CSN aprobó la ITC de la Normativa de Aplicación Condicionada, por la que se requiere a la central el análisis de

aplicabilidad de normas que pueden suponer un incremento de la seguridad de la planta.

### Vandellós II

---

#### Número de sucesos (nivel INES)

— 3 (2 INES 0 y 1 INES 1)

#### Paradas no programadas

— 0

#### Número de inspecciones del CSN

— 5

#### Actividades

— Durante el trimestre la central se mantuvo a plena potencia, salvo una reducción al 82% a partir del 29 de marzo y hasta final del trimestre, por demanda de reducción del sistema eléctrico, a petición del despacho de cargas.

## Instalaciones del ciclo y en desmantelamiento

---

### Ciemat

---

#### Pimic-Rehabilitación

— Durante este periodo se ha trabajado en el desarrollo de un plan de control de materiales para su desclasificación.

#### Pimic-Desmantelamiento

— No se han realizado actividades de desmantelamiento durante este trimestre. Solo se han llevado a cabo tareas de vigilancia y control de la zona vallada.

#### Número de inspecciones del CSN

— 3

### Centro Medioambiental de Saelices El Chico (Salamanca)

---

#### Planta Quercus

— Enusa ha remitido al CSN el programa de actualización del plan de desmantelamiento de la planta, que se requirió al haberse denegado la prórroga de suspensión del proceso de licenciamiento del desmantelamiento de la misma.

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

#### Planta Elefante

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

#### Otras instalaciones mineras:

— Se ha requerido a Enusa la revisión del programa propuesto para la vigilancia del emplazamiento restaurado de Saelices el Chico.

— Se está evaluando 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 concentrados de uranio de los yacimientos de Retortillo-Santidad, en Salamanca.

— Se está evaluando también la documentación remitida por la Junta de Castilla y León, relativa a la solicitud de BME de otorgamiento de la concesión de explotación de recursos de uranio de los yacimientos de Retortillo-Santidad en Salamanca.

#### Número de inspecciones del CSN

— 0

### Fábrica de Uranio de Andújar

---

#### Actividades

— La instalación sigue bajo control, en el denominado periodo de cumplimiento, posterior al desmantelamiento. Se ha presentado el informe anual correspondiente a 2012.

#### Inspecciones del CSN

— 0

### El Cabril (Córdoba)

---

#### 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 residuos radiactivos de baja y media actividad, así como de muy baja actividad.

#### Número de sucesos

— 0

#### Número de inspecciones del CSN

— 3

### Vandellós I (Tarragona)

---

#### Actividades

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

#### Número de inspecciones del CSN

— 0

### José Cabrera (Guadalajara)

---

#### Actividades

— Durante el trimestre prosiguió la segmentación de los elementos internos de la vasija del reactor, así como el corte y retirada de diversos elementos del circuito primario.

— En el mes de febrero concluyeron las evaluaciones relativas a la modificación de diseño del ATI para su uso como almacenamiento de residuos radiactivos procedentes del desmantelamiento de la instalación.

#### Número de inspecciones del CSN

— 2

### Juzbado (Salamanca)

---

#### Número de sucesos (nivel INES)

— 0 (INES 0)

#### Actividades

— El CSN informó favorablemente el 9 de enero la propuesta de revisión del Reglamento de Funcionamiento, presentada para dar cumplimiento a la IT CSN-IT-DSN-10-22; y, el 31 de enero, la solicitud de autorización para utilizar el almacén de tubos en el área de Gadolinio como almacén de barras.

#### Número de inspecciones del CSN

— 1

## Instalaciones radiactivas

---

### Resoluciones adoptadas sobre instalaciones radiactivas (científicas, médicas, agrícolas, comerciales e industriales) del 1 de diciembre de 2012 al 28 de febrero de 2013

---

Informes para autorización de nuevas instalaciones

— 16

Informes para autorizaciones de modificación de instalaciones

— 47

Informes para declaración de clausura

— 10

Informes para autorización de servicios de protección radiológica

— 0

Informes para autorización de unidades técnicas de protección radiológica

— 1

Informes para autorización de servicios de dosimetría personal

— 2

Informes para autorización de retirada de material radiactivo no autorizado

— 4

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

— 7

Informes para autorización de otras actividades reguladas

— 3

Informes relativos a la aprobación de tipo de aparatos radiactivos

— 9

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

— 9

### Acciones coercitivas adoptadas sobre instalaciones radiactivas (científicas, médicas, agrícolas, comerciales e industriales) del 1 de diciembre de 2012 al 28 de febrero de 2013

---

Apercibimientos a instalaciones radiactivas industriales

— 6

Apercibimientos a instalaciones radiactivas de investigación o docencia

— 1

Apercibimientos a instalaciones radiactivas médicas

— 0

Apercibimientos a unidades técnicas de protección radiológica

— 3

Apercibimientos a servicios de protección radiológica

— 1

Apercibimientos a instalaciones de rayos X médicos

— 0

Apercibimientos a otras actividades reguladas

— 0

## Seguridad física

---

Actividades más relevantes

— En colaboración con el Ministerio del Interior han continuado los trabajos para la definición de la Amenaza Base de Diseño y modelo de Seguridad Física de centrales y materiales nucleares.

— En colaboración con el CNI se ha trabajado en la implantación en el CSN del Subregistro Principal para protección de la información confidencial.

— Se han evaluado diferentes propuestas, en torno a la seguridad física, de los reglamentos de funcionamiento de las centrales Santa María de Garoña y Ascó.

— Se ha constituido un grupo de trabajo para la elaboración y publicación de una Instrucción de Seguridad sobre Protección Física de Fuentes Radiactivas.

— Se ha realizado una auditoría interna a las actividades y procesos desempeñadas por el Área de Seguridad Física.

Cursos

— Expertos en Seguridad Física Nuclear del CSN han impartido la asignatura “Protección física de instalaciones y materiales nucleares” del Máster de Ingeniería Nuclear y Aplicaciones, organizado por el Ciemat en colaboración con la Universidad Autónoma de Madrid.

Número de simulacros

— 0

Número de inspecciones

— 2 (Ascó y Trillo)

Actividades internacionales

— Reunión Anual Intermedia del Grupo de Implantación y Evaluación de la Iniciativa Global contra el Terrorismo

Nuclear, en la Escuela de Guerra, Madrid.

— Reunión de consultores del OIEA sobre Seguridad Física del Combustible Gastado.

— Seminario sobre Seguridad Física de Fuentes Organizado por el IRSN en Châtillon, Francia.

## Notificación de sucesos

---

Número de incidentes en instalaciones nucleares en una hora

— 4

Número de incidentes en instalaciones nucleares en 24 horas

— 9

Número de incidentes radiológicos

— 2

Hechos relevantes

— Ninguno reseñable.

## Emergencias

---

Activación de la ORE

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

Otras actividades relevantes

— El CSN participó en el ejercicio Gamma 2013, dirigido por la UME, en el que se simuló que una avalancha de agua afectaba a un camión cargado de bidones con polvo de óxido de uranio en una fábrica de combustible nuclear. Se activó la ORE del CSN y el grupo de intervención radiológica desplazado se encargó de supervisar la caracterización radiológica de la zona y el control radiológico del personal interviniente.

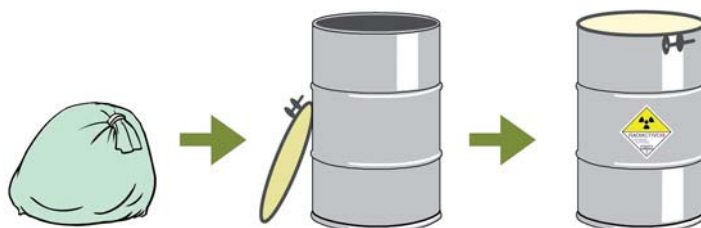
— Se ha constituido el grupo de trabajo CSN-UME-UNESA para definir la posible intervención de la UME en las centrales nucleares, a solicitud de los titulares, en caso de accidentes extremos y su programa de formación asociado.

— Se desarrollan los trabajos de preparación del simulacro general del PENCA (CURIEX) y han continuado los trabajos de modificación del PLABEN a raíz de las lecciones aprendidas en Fukushima. ©

## Gestión de los residuos radiactivos

En Canal Saber se puede encontrar información divulgativa sobre los aspectos generales de los residuos radiactivos. Qué son y qué diferentes tipos existen, cuál es su origen, qué controles y qué tratamientos se realizan para su adecuada gestión y almacenamiento de manera segura para evitar daños a las personas y al medio ambiente.

[http://www.csn.es/index.php?option=com\\_content&view=article&id=133&Itemid=138&lang=es](http://www.csn.es/index.php?option=com_content&view=article&id=133&Itemid=138&lang=es)



## Comité asesor para la información y participación pública

En la reforma de la Ley de Creación del CSN de 2007 se estableció la creación de un Comité asesor para la información y participación pública, compuesto por representantes de todas las administraciones, representantes de los sindicatos y de organizaciones ambientales y profesionales de la comunicación. Sus reuniones han dado lugar a recomendaciones para mejorar la transparencia y la comunicación del Consejo. Puede consultarse su composición, actas y recomendaciones emitidas en la web del CSN:

[http://www.csn.es/index.php?option=com\\_content&view=article&id=16914&Itemid=742%E3%80%88%3Des&lang=es](http://www.csn.es/index.php?option=com_content&view=article&id=16914&Itemid=742%E3%80%88%3Des&lang=es)



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



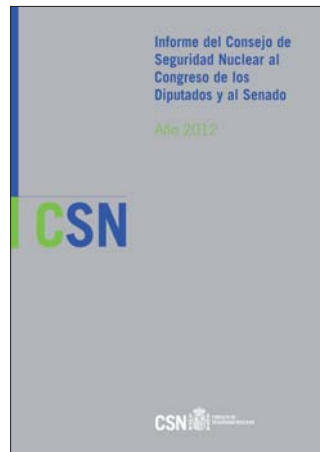
Para consultar las **actas del Pleno del CSN**, visite: [http://www.csn.es/index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=49&Itemid=74&lang=es](http://www.csn.es/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=49&Itemid=74&lang=es)



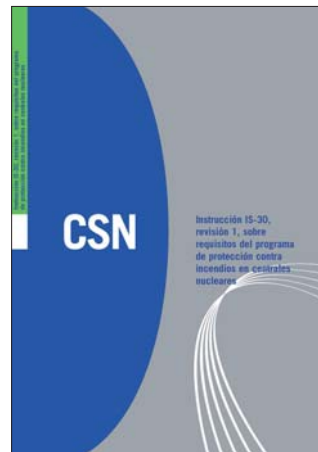
Puede acceder a los anteriores números de **Alfa, revista de seguridad nuclear y protección radiológica** en: [http://www.csn.es/index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=72&Itemid=157&lang=es](http://www.csn.es/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=72&Itemid=157&lang=es)



## PUBLICACIONES



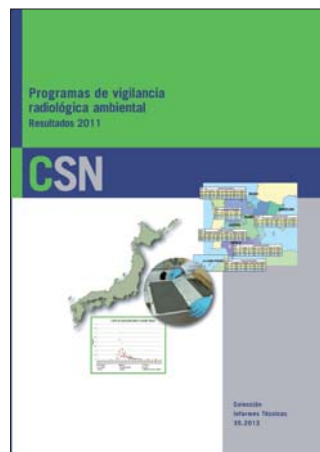
**Informe del Consejo de Seguridad Nuclear al Congreso de los Diputados y al Senado**  
Año 2012



**Instrucción IS-30, revisión 1, sobre requisitos del programa de protección contra incendios en centrales nucleares**



**El mapa predictivo de exposición al radón en España**  
Colección Informes Técnicos 38.2013



**Programas de vigilancia radiológica ambiental**  
Resultados 2011  
Colección Informes Técnicos 35.2012



**Estudio radiológico de la industria cerámica y auxiliares**  
Colección Informes Técnicos 40.2013

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

**Boletín de suscripción**

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

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

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



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

