

**Entrevista a Fernando
Marti Scharfhausen,
presidente
del Consejo de
Seguridad Nuclear**

Normativa para
la restauración de zonas
contaminadas por
un accidente nuclear

Ratones transgénicos:
benditos roedores

En busca de la excelencia
científica

Arqueología subacuática:
la historia sumergida

Tratamiento de la cultura
de seguridad en el SISC



“La robustez técnica y gestora del Consejo ha permitido afrontar el relevo sin merma del cumplimiento de las misiones que tiene encomendadas”



El pasado 2 de abril se formalizaba la renovación del Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear mediante la toma de posesión de cuatro de sus cinco miembros: Fernando Marti Scharfhausen, en calidad de presidente, Rosario Velasco García, Fernando Castelló Boronat y Cristina Narbona Ruiz, como consejeros. Los dos primeros ya formaban parte del anterior Pleno, junto con Antoni Gurgu Ferrer, cuyo mandato se extiende hasta marzo de 2015. A este nuevo equipo se une, como secretaria general, María Luisa Rodríguez López.

Las personas cambian pero las instituciones permanecen, y en este caso la robustez técnica y gestora del Consejo ha permitido afrontar el relevo sin merma del cumplimiento de las misiones que tiene encomendadas como organismo responsable de la seguridad nuclear y la protección radiológica en España. Y así lo pone de manifiesto el nuevo presidente, protagonista de la entrevista incluida en este número de *Alfa* que pone el énfasis en la continuidad y señala los retos que el Consejo debe afrontar en un futuro próximo, singularmente el Almacén Temporal Centralizado para el combustible gastado de las centrales nucleares y el futuro desmantelamiento de Santa María de Garoña.

Entre los reportajes incluidos se encuentra uno referido a la arqueología subacuática, una especialidad dedicada a estudiar los testimonios históricos que permanecen sumergidos bajo las aguas de mares, ríos y lagos, generados por naufragios y hundimientos, que hasta hace poco eran difíciles de estudiar. En las últimas décadas, la utilización de nuevas tecnologías y de la sensibilidad ante el valor patrimonial de estos yacimientos ha permitido un gran desarrollo de esta dis-

ciplina. Dedicamos también un espacio a una tecnología que está permitiendo estudiar con precisión el papel que juegan, en la salud y en la enfermedad, cada uno de los 22.000 genes que forman nuestro genoma. Se trata de los ratones modificados genéticamente, en los que se pueden encender o apagar genes de forma individualizada y a discreción. En un ámbito más general, abordamos el Programa Severo Ochoa, dedicado a apoyar la ciencia de excelencia en España y en el que se incluyen 13 centros de investigación seleccionados por su competitividad internacional y su voluntad de mejorar de forma continua su calidad investigadora.

Ya dentro del ámbito más próximo a la actividad del CSN, se incluye un reportaje sobre el nuevo Laboratorio de Patrones Neutrónicos que el Ciemat ha puesto en marcha y que permitirá calibrar todo tipo de aparatos que trabajen con neutrones, como detectores y dosímetros. La sección de tecnología nuclear española está dedicada a la empresa Equipos Nucleares S.A., que en su fábrica de Maliaño (Santander), produce algunas de las estructuras más grandes y complejas que forman parte de una central nuclear, como vasijas y generadores de vapor, que exporta a todo el mundo, incluidos los países más avanzados dentro del sector, como Estados Unidos y Francia.

Entre los artículos técnicos hay uno dedicado al Centro Nacional de Dosimetría, donde cada año se analizan unos 500.000 dosímetros de trabajadores expuestos. Otro está dedicado al tratamiento que recibe el concepto de cultura de seguridad en el Sistema Integrado de Supervisión de Centrales (SISC), y un tercero a las normas de aplicación para la restauración de zonas contaminadas por un accidente nuclear.

REPORTAJES

- 4 **Un rayo de luz sobre los flujos de neutrones**
España cuenta ya con un laboratorio dedicado a las mediciones de neutrones. Instalado en el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat), permitirá calibrar detectores, dosímetros y otros aparatos de medición, así como efectuar otros muchos experimentos.

A ray of light on neutron flux. Spain now has a laboratory dedicated to the measurement of neutrons. This laboratory, which is installed at the Centre for Energy-Related, Environmental and Technological Research, will allow for the calibration of detectors, dosimeters and other measuring devices and for the performance of many other experiments.
- 9 **La historia sumergida**
La arqueología subacuática intenta desentrañar los testimonios históricos que yacen bajo las aguas de mares, ríos y lagos. Es una disciplina joven pero muy activa, gracias al empleo de tecnologías sofisticadas que permiten ahora localizar y estudiar los materiales de esos yacimientos para devolverles la luz.

History submerged. Underwater archaeology aims to fathom those historical records that lay under the waters of seas, rivers and lakes. It is a young but highly active discipline based on the use of sophisticated technologies that enable us to locate and study the materials in such deposits in order to bring them back to the light.
- 17 **Benditos roedores**
El empleo de ratones modificados genéticamente permite el estudio en profundidad de las enfermedades más prevalentes que afectan a los humanos, ya que compartimos con aquellos más del 95% del material genético. El objetivo es conocer para qué sirve exactamente cada uno de los 22.000 genes de nuestro genoma.

Blessed rodents. The use of genetically modified mice allows for the in-depth study of the most widespread diseases that affect human beings, since we share more than 95% of our genetic material with these animals. The objective is to gain insight into the exact purpose of each of the 22,000 genes that make up our genome.
- 22 **En busca de la excelencia científica**
El Programa Severo Ochoa distingue a los 13 centros de investigación más punteros de nuestro país, a los que ofrece una sustancial financiación adicional. El objetivo del programa es estimular la excelencia científica, entendida como capacidad de liderazgo, muestra de calidad y capacidad competitiva en el escenario mundial de cada disciplina.

In search of scientific excellence. The Severo Ochoa programme distinguishes the 13 top research centres in our country, providing them with substantial additional funding. The objective of the programme is to stimulate scientific excellence, in terms of capacity to lead, quality and competitiveness on the world stage in each discipline.
- 29 **La precisión del diplodocus**
La empresa Equipos Nucleares S.A. (ENSA) cumple 40 años de actividad dedicada a la producción de los mayores componentes de las centrales nucleares, como vasijas y generadores de vapor. Su capacidad competitiva les permite exportar a todo el mundo, incluidos los países más avanzados del sector, como Francia, Estados Unidos y China.

The precision of the diplodocus. The company Equipos Nucleares S.A. (ENSA) is celebrating 40 years of activity in the production of major components for nuclear power plants, such as reactor vessels and steam generators. The competitive capacity of the company allows it to export to countries across the world, including those that are most advanced in the sector, such as France, the United States and China.

RADIOGRAFÍA

36 El sistema eléctrico nacional

The national electricity system

ENTREVISTA

38 Fernando Marti Scharfhausen, presidente del Consejo de Seguridad Nuclear: “Para el CSN es fundamental el rigor técnico y la transferencia del conocimiento a las nuevas generaciones”

Fernando Marti Scharfhausen, president of the Nuclear Safety Council: “Technical rigour and knowledge transfer, essentials for the Spanish Nuclear Safety Council”

ARTÍCULOS TÉCNICOS

43 El Centro Nacional de Dosimetría

Cerca de 90.000 trabajadores de nuestro país se encuentran controlados radiológicamente mediante dosímetros personales para vigilar las dosis que reciben. Para realizar el seguimiento este centro, ubicado en Valencia y creado hace 35 años, se encarga de analizar la mitad de dichos dosímetros, unos 500.000 anuales.

The National Dosimetry Centre. In Spain almost 90,000 workers are radiologically controlled by means of personal dosimeters, the aim being to monitor the doses they receive. This centre, set up 35 years ago and located in Valencia, undertakes this monitoring, studying half the dosimeters, some 500,000 analyses, every year.

48 Tratamiento de la cultura de seguridad en el Sistema Integrado de Supervisión de Centrales (SISC)

Algunas catástrofes ocurridas en los años 80, entre ellas el accidente de Chernóbil, pusieron de manifiesto la importancia del factor humano y llevaron al desarrollo del concepto de cultura de seguridad. Hoy es uno de los principales aspectos que integran el análisis de la seguridad aplicado a la gestión de las centrales nucleares.

Treatment of the safety culture in the Integrated Plant Supervision System (SISC). Certain of the catastrophes that occurred in the 1980's, among them the Chernobyl accident, underlined the importance of the human factor and led to the development of the concept of the safety culture. Today this is one of the main aspects involved in safety analysis, as applied in the management of nuclear power plants.

56 Marco normativo para la restauración de zonas contaminadas después de un accidente nuclear

El accidente ocurrido en la central nuclear japonesa de Fukushima Dai-ichi ha puesto de manifiesto la necesidad de fortalecer los principios, criterios y normas de protección radiológica aplicables a los programas de restauración y vigilancia a largo plazo de las zonas afectadas por un accidente nuclear.

Legal framework for the restoration of contaminated areas following nuclear accidents. The accident that occurred at the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant in Japan has underlined the need to strengthen the principles, criteria and standards of radiological protection applicable to programmes for the restoration and long-term surveillance of areas affected by nuclear accidents.

64 PANORAMA

67 EL CSN INFORMA

71 WWW.CSN.ES

72 PUBLICACIONES

alFa

Revista de seguridad nuclear
y protección radiológica

Editada por el CSN

Número 20 / I trimestre 2013

Comité Editorial

Fernando Marti Scharfhausen

Isabel Mellado Jiménez

Manuel Rodríguez Martí

Enrique García Fresneda

Manuel Toharia

Ignacio F. 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

Estugraf Impresores S.L.

Pol. Ind. Los Huertecillos, Nave 13

28350 Ciempozuelos (Madrid)

Depósito legal: M-24946-2012

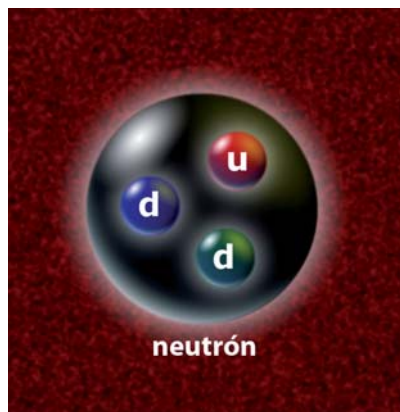
ISSN-1888-8925

© Consejo de Seguridad Nuclear

Fotografía de portada

Depositphotos

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



› Lorena Cabeza,
periodista científica

Un rayo de luz sobre los flujos de neutrones

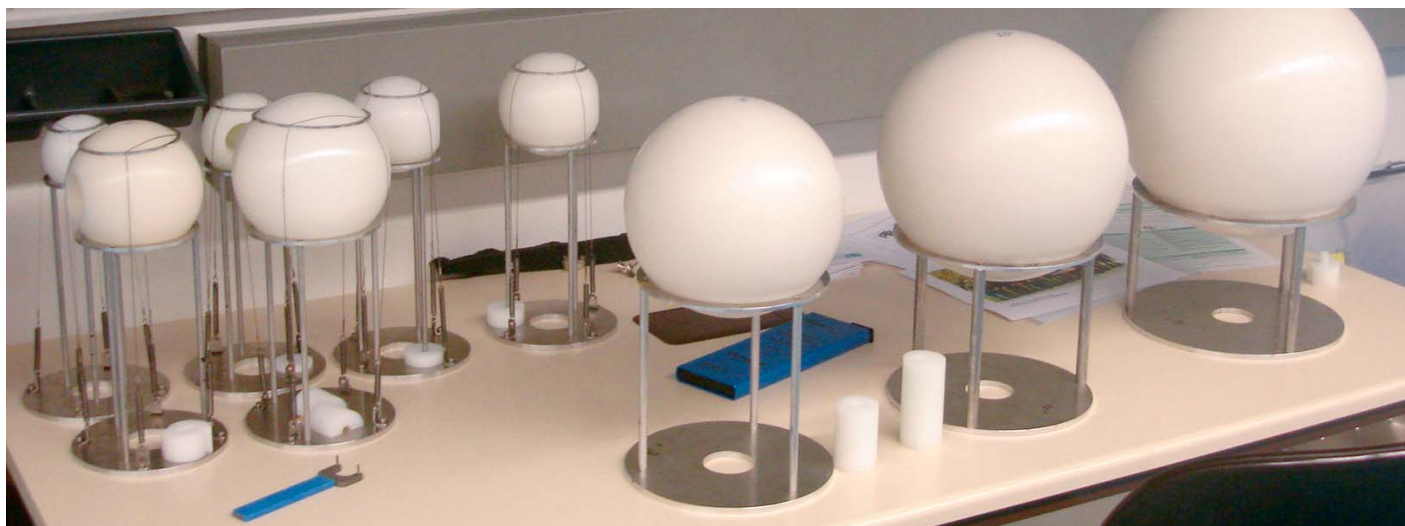
En el origen mismo de las reacciones nucleares, en los aceleradores de partículas capaces de desentrañar la estructura atómica de la materia o de acabar sin piedad con las células cancerígenas, en detectores de agua e hidrocarburos o en los rayos cósmicos procedentes del espacio exterior: la radiación neutrónica nos rodea, ya sea natural, generada de manera intencionada o surgida como “subproducto no deseado” de otros procesos. En cualquiera de los casos es necesario medirla para tenerla controlada y actuar si fuera necesario. Y para ello, sus detectores han de ser calibrados periódicamente con el fin de verificar su exactitud. Hasta ahora esta calibración se ha venido haciendo en laboratorios certificados de países como Alemania o Francia. La demanda cada vez mayor de estos servicios ha hecho imperativa la creación, al fin, de un laboratorio nacional para realizar medidas neutrónicas. El proceso que ha llevado a su creación entra este año en su recta final.

Una losa de hormigón de medio metro de espesor se retira con lentitud mientras unas señales agudas e intermitentes nos recuerdan la prudencia debida a las fuentes radiactivas que se guardan tras ella. La puerta, de más de seis to-

neladas de peso, contiene entre otros elementos boro, un material especialmente indicado para absorber la radiación neutrónica. Tras ella se extiende una sala diáfana con forma de cubo que constituye el corazón del Laboratorio de Patrones Neu-



Roberto Méndez Villafañe, responsable del Laboratorio de Patrones Neutrónicos del Ciemat.



Sistema de esferas de Bonner para la caracterización del espectro neutrónico.

trónicos (LPN) del Centro de Investigaciones, Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat). El proyecto, que empezó a tomar forma en el año 2005, ve por fin próximo el momento de iniciar su andadura: hacia el verano de este año España dispondrá de su propio laboratorio de referencia en el ámbito de la medición neutrónica.

En estas instalaciones, ubicadas en el complejo de edificios del Ciemat en la Moncloa (Madrid), se establecerá el patrón nacional de radiación neutrónica y se calibrarán detectores, dosímetros y otros equipos de medición de estas partículas esquivas, además de efectuar irradiaciones neutrónicas de materiales con fines, a menudo, dosimétricos. El proyecto servirá para mejorar la precisión de unos dispositivos que, hasta ahora, tenían que viajar a Alemania o Francia para ser verificados. Se trata, por tanto, de un rayo de luz que permitirá conocer con mayor exactitud los flujos neutrónicos que existen o puedan existir en las diversas instalaciones que hacen uso de la radiactividad en nuestro país.

Los neutrones, responsables de la fisión nuclear y de la producción de radioisótopos y, por tanto, de la práctica totalidad de los usos de la energía atómica, son también las partículas más

difíciles de detectar y caracterizar. El mismo rasgo que los hace casi “invisibles”, su carencia de carga eléctrica, es el que les confiere una gran capacidad para penetrar en la materia y arrancarle sus secretos. Esta misma característica, sin embargo, hace que su paso no provoque ionización alguna en los cuerpos que atraviesa, por lo que su presencia solo se puede conocer de manera indirecta, a través de las reacciones que produce, bien con la creación de radiactividad artificial por bombardeo de neutrones (métodos de activación), bien midiendo los protones que desplazan al atravesar la materia (contadores Geiger y cámaras de ionización).

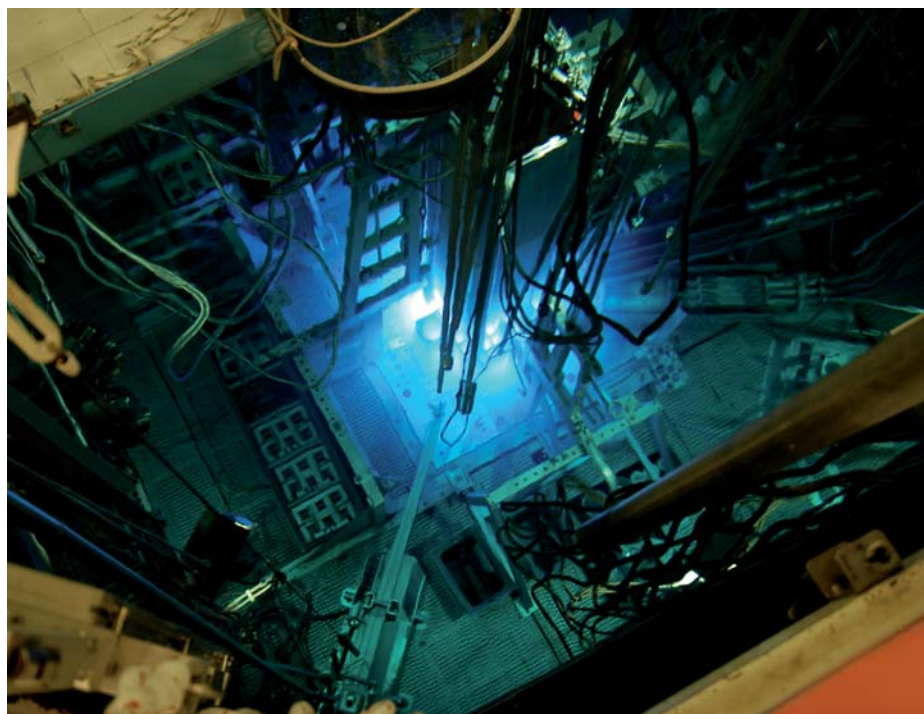
La tecnología que permite calibrar los dispositivos capaces de medir estos flujos de partículas es tan compleja como costosa, y ello ha sido uno de los motivos por los que la puesta en marcha de estas instalaciones se ha dilatado en el tiempo. Ahora, y gracias a un acuerdo de colaboración entre el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) y el Ciemat, al que se han sumado Enusa y Enresa —que contribuyeron a la financiación de las fuentes de neutrones, que por sí solas supusieron alrededor de medio millón de euros del total de dos millones que ha costado el proyecto—, el Laboratorio de Pa-

trones Neutrónicos del Ciemat ya es una realidad.

“En estos años ha habido dificultades de todo tipo —dice Roberto Méndez Villafañe, físico nuclear del Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes del Ciemat y responsable del programa—. Desde la ubicación del edificio, que debía tener unas dimensiones mínimas de 8 x 8 x 8 metros para que la contribución al espectro de los neutrones que rebotan en las paredes no fuera demasiado alta, a la elaboración de las especificaciones técnicas, el licenciamiento de la instalación o la manipulación de las fuentes”. El laboratorio cuenta con dos fuentes de neutrones, una de californio y otra de americio-berilio, y su introducción en el laboratorio ha sido una de las partes más delicadas del proceso. Su tamaño es reducido, similar al de una pila botón (la de californio) o al de una pila convencional (la de americio-berilio), pero la radiación que emiten es tan alta que se hace necesario un blindaje de un metro cúbico de polietileno para frenarla. “Introducirlo todo en el Ciemat, extraer la fuente, manipularla directamente, sin control remoto... Todo ello llevó mucha planificación, muchos ensayos, estimaciones de dosis recibidas, etc.”.

Durante un largo período el desarrollo del proyecto avanzó de manera más pausada. En 2012, sin embargo, toma forma y es entonces cuando se construye el edificio, se adquieren las fuentes neutrónicas y se elaboran los procedimientos relativos a la seguridad y la documentación necesaria para el licenciamiento, ante el CSN, como instalación radiactiva. A pesar del mal momento económico, tanto el Ciemat como el Consejo han decidido dar máxima prioridad a una iniciativa que respondía a una necesidad cada vez más importante: la de que el país contara con infraestructuras propias capaces de calibrar con exactitud los equipos de detección y medición de flujos neutrónicos de centrales nucleares, hospitales, empresas, universidades y grandes instalaciones como el sincrotrón ALBA de Barcelona o la Fuente Europea de Neutrones por Espalación que se quiere construir en Bilbao. Y es que las instalaciones que producen neutrones, ya sea de manera directa o indirecta, son cada vez más numerosas.

“España no tenía suficiente capacidad de calibración para todos esos equipos —explica Méndez Villafañe—. Cuando era necesario se llevaban a Francia y, sobre todo, al PTB de Alemania [el equivalente al Centro Español de Metro-



Reactor nuclear con detectores de neutrones.

logía]”. Entre bastidores se bromeaba diciendo que “en España no hay neutrones” y lo cierto es que, si bien la radiación neutrónica se medía, y se hacía de manera segura, la calibración de los monitores no siempre se llevaba a cabo con todo el rigor. “Lo ideal es que los equipos se calibren cada cuatro años, y esto no siempre se hacía así, o se hacía de manera imprecisa, utilizando pequeñas fuentes para verificar que los monitores

medían más o menos bien”. La seguridad no era un problema pero, para Méndez Villafañe, “se podía cuestionar si las mediciones eran del todo correctas, ya que desconocíamos su precisión”.

Fue el CSN quien, a partir del momento en el que sus competencias en el ámbito sanitario se extendieron no solo a los trabajadores, sino también al público en general, señaló la necesidad de que España contara con un sistema

Pioneros de la calibración neutrónica

Fue en el año 2000 cuando, conscientes de las carencias de nuestro país en materia de dosimetría de neutrones, un equipo de investigación del Departamento de Ingeniería Nuclear de la Escuela de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) comenzó a plantearse la posibilidad de trabajar en ello. Tras hablar con otros expertos de la Universidad de Valladolid y del propio Ciemat y obtener la financiación del CSN,

el equipo se dispuso a adaptar las instalaciones disponibles en sus laboratorios a las necesidades de la dosimetría neutrónica. “La financiación que necesitábamos era relativamente modesta”, recuerda Eduardo Gallego, director del Departamento y responsable del Laboratorio de Medidas Neutrónicas de dicha Escuela. “Teníamos dos fuentes de americio-berilio, lo más caro de todo, éramos ya instalación radiactiva de segunda categoría

y solo necesitábamos una bancada para poder hacer las pruebas de forma repetible y en condiciones muy controladas”.

Su objetivo era poner a punto los procedimientos para realizar una calibración neutrónica lo más cercana posible a las realizadas por las entidades acreditadas y conforme a la norma ISO-8529, que regula cómo ha de ser una instalación de este tipo. “Se puede decir que fuimos pioneros, aunque siempre hemos colaborado con el Ciemat y hemos realizado las pruebas de manera conjunta”, dice Gallego.

propio de calibraciones neutrónicas. Y es que los detectores de flujos de neutrones no solo se utilizan en el control dosimétrico y la prevención de posibles accidentes en reactores nucleares, aceleradores o centros de investigación —ámbitos en los que la radiación neutrónica estaba más vigilada—, sino que también algunos hospitales cuentan con ellos para medir la dosis extra de neutrones que los pacientes reciben al ser sometidos a radioterapia con aceleradores lineales de partículas (LINAC). “Cuando irradias una zona cancerígena aplicas la radiación a un punto muy bien localizado, pero los neutrones que se producen se reparten por todo el cuerpo del paciente y por toda la sala. Se da una dosis extra [de radiación neutrónica] al cuerpo del paciente, si bien es una dosis minúscula comparada con la que se ha aplicado al tumor. Ahora se quiere tener esto también bien controlado”.

Para Eduardo Gallego, director del Departamento de Ingeniería Nuclear de la Universidad Politécnica de Madrid, “en el ámbito médico los neutrones estaban casi ignorados” y si bien está de acuerdo en que la radiación extra recibida por el paciente es mínima (se estima que menos de un 0,5% de la que se aplica en la zona tratada), se trata de una

“radiación parásita” que siempre está bien reducir para así recibir “un tratamiento más limpio” y evitar en lo posible el riesgo de cánceres secundarios a largo plazo.

Por ello se están llevando a cabo estudios sobre los efectos de la radiación neutrónica en el cuerpo humano y se ha encontrado que aspectos como la forma y el tamaño de la habitación en la que se administre, la composición del hormigón de blindaje o, sobre todo, los materiales de los que esté fabricado el cabezal del acelerador, pueden modificar la dosis efectiva de radiación neutrónica recibida por el cuerpo del paciente.

Cuando se habla de flujos de neutrones es importante tener en cuenta no solo la cantidad de partículas del haz, sino también su energía. Existen desde neutrones de muy baja energía —los llamados ‘neutrones térmicos’, por debajo del electronvoltio— a neutrones con energías de hasta gigaelectronvoltios (10^9 electronvoltios) —normalmente de origen cósmico o procedentes de grandes

aceleradores como el LHC—. Según Méndez Villafañe, “el rango de energía es muy amplio y su interacción con el cuerpo humano, es decir, sus efectos sobre este, muy diferentes en función de esta energía. Por eso hay que tener muy controlado no solo cuántos neutrones llegan, sino con qué energías (lo que se denomina espectro neutrónico), y eso varía mucho en función de la proximidad a la fuente, a las paredes, la geometría de la habitación, etc.”.

En esa fase se encuentra ahora mismo el Laboratorio de Patrones Neutrónicos del Ciemat: la de medir exactamente cuál es el espectro neutrónico existente en cada punto de la sala para así preparar los procedimientos de calibración.

Atrás quedaron los tiempos en los que, según explica Méndez Villafañe, partieron “un poco de cero (...). Había muy pocas referencias. En España solo existía el Laboratorio de Medidas Neutrónicas de la Escuela de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica

Tras haber establecido esos procedimientos y dado servicio a diferentes usuarios, el trabajo del laboratorio de la UPM se ha centrado en los últimos años, sobre todo, en el desarrollo de nuevos instrumentos relacionados con los neutrones como por ejemplo detectores de estas partículas para su uso en la prevención del tráfico ilegal de materiales nucleares. “Si alguien tratara de ‘colar’ material fisible como el uranio, dado que también emite neutrones, se detectaría”. Y es que, como dice Gallego, “siempre hay ámbitos en los que aparecen los neutrones”.



El profesor Eduardo Gallego junto a la bancada de irradiación del laboratorio de la UPM.



Generador electrónico de neutrones utilizado en laboratorio.



Los aceleradores lineales de partículas (LINAC) utilizados habitualmente en radioterapia producen también radiación neutrónica que ha de ser controlada.

de Madrid. Y en Europa no hay tantas instalaciones similares. Las hay en Reino Unido, Francia, Alemania, República Checa, Italia... Se hicieron visitas a varias de ellas, sobre todo a Alemania porque es la referencia en Europa". Todas fueron valiosas para apoyarse en experiencias diversas, si bien el proyecto final ha buscado sus propias soluciones para resolver las dificultades que se han ido planteando, como por ejemplo el desarrollo de un sistema robotizado para manipular las fuentes. El documento básico en

el que se han apoyado para la creación del laboratorio ha sido, sin embargo, una norma, la ISO 8529, de Radiaciones de Referencia de Neutrones. "Ahí es donde se especifica cómo ha de ser una instalación de calibración de patrones neutrónicos", dice Méndez Villafañe.

Los dispositivos necesarios para realizar las calibraciones ya están preparados. Las fuentes se encuentran sumergidas en una piscina que actúa como blindaje de la radiación neutrónica —normalmente se utilizan para

frenarla elementos hidrogenados como el agua o el polietileno ya mencionado— y que está cubierta por una losa de hormigón para controlar la dosis de radiación gamma que también emiten. El sistema robotizado desarrollado por el equipo del laboratorio se encarga de colocar la fuente en la bancada, una plataforma desde donde saldrá disparada, en menos de un segundo, cuatro metros hacia arriba, hasta el centro geométrico de la sala, de forma que el equipo a calibrar no reciba una dosis neutrónica significativa. La fuente, así, se sitúa por un instante junto al monitor de radiación neutrónica cuya exactitud se quiere verificar.

Pero el Laboratorio de Patrones Neutrónicos no se limitará a ser la referencia en el ámbito de la calibración de equipos de detección de este tipo de radiación neutrónica. También quieren poner en marcha un sistema de dosimetría personal neutrónica que, en principio, se ceñiría al Ciemat, pero que esperan con el tiempo extender a toda España. "No existe una dosimetría neutrónica personal a escala nacional. Lo que nos planteamos es ver lo que se hace en otros países y adaptarlo al nuestro", dice Méndez Villafañe. Además, el laboratorio participará en estudios comparativos entre distintos laboratorios equivalentes de toda Europa y trabajará para desarrollar nuevas técnicas de medida y detección de neutrones.

En estos momentos, las instalaciones están preparadas, los dispositivos listos para trabajar y las fuentes neutrónicas a punto para ser disparadas. Una vez el LPN disponga de la licencia definitiva de puesta en marcha otorgada por el CSN y los procedimientos de calibración estén elaborados y probados, podrá por fin echar a andar. A partir de entonces, en España no solo habrá neutrones, sino que también existirá una entidad acreditada para calibrar sus detectores con total precisión y seguridad. ©

REPORTAJE

La arqueología subacuática intenta recuperar los testimonios humanos que yacen bajo las aguas



► Ignacio Fernández Bayo, periodista científico

La historia sumergida

Barcos naufragados, puertos hundidos, ciudades cubiertas por las aguas... Decenas de miles de testimonios de la historia humana yacen sumergidos en el fondo de mares, ríos y lagos de todo el mundo. Como los yacimientos arqueológicos terrestres, encierran un auténtico tesoro de conocimiento, pero han sido mucho menos estudiados por las dificultades de acceso y las condiciones de conservación. La arqueología subacuática es una especialidad joven pero en plena efervescencia, ya que el uso de tecnologías sofisticadas permite ahora detectar, estudiar y extraer los materiales de esos yacimientos para devolverles la luz. El caso más emblemático fue el de la fragata española *La Mercedes*, cuyos restos podrán ser contemplados pronto en Cartagena, y el más reciente ha sido la extracción de los motores del *Apolo XI*, que dormían a 4.000 metros de profundidad. Los expertos, sin embargo, recomiendan preservar y proteger los yacimientos en su ubicación, que es en sí misma parte de su valor histórico.

“Después de la batalla de Trafalgar nuestra nave fondeó frente a Cádiz, junto con los tristes restos de la escuadra. Teníamos 250 heridos tendidos en las literas, y el sollado y la batería baja estaban atestados de ellos. Por la noche, a causa de un desafortunado golpe de viento, el navío *Le Bucentaure*,

desarbolado y chato como un pontón, fue lanzado contra los escollos, frente a la Torre de San Sebastián. Tuvimos que recoger a la mayor parte de su tripulación, lo que elevó nuestro contingente a 1.400 hombres hacinados en un navío en mal estado. Nuestra situación empeoraba por momentos, la mar se enfureció y ya no



Legajo del siglo XVII del archivo de la Cámara de Comercio de Sevilla.



Pintura de Auguste Mayer del buque *Le Bucentaure* durante la batalla de Trafalgar.

era posible maniobrar ni entenderse en medio de la gran confusión que reinaba a bordo...”. Muchos años después de la tragedia, Michel Maffiotte, timonel del buque francés *Indomptable*, relataba minuciosamente el naufragio de su barco cerca de El Puerto de Santa María, en el que

solo se salvaron él y otros 143 marineros, del casi millar y medio que había a bordo. Su relato fue recogido por el biólogo y escritor francés Sabino Berthelot en su obra *Historia Natural de Canarias*.

A veces, esos detalles anotados en obras históricas, memorias, declaracio-

nes oficiales, atestados judiciales y otros documentos permiten iniciar el proceso de búsqueda y estudio arqueológico de los restos del barco, que yacen sobre el lecho marino. Otras veces existen registros de hallazgos casuales que ponen a los expertos sobre la pista. Con frecuencia, la conjunción de ambos indicios lleva al éxito en la búsqueda de estos tesoros de la historia. El *Bucentaure*, buque insignia de la coalición franco-española en Trafalgar, ha podido ser localizado y estudiado en los últimos años, junto con otro barco naufragado tras aquella célebre batalla, el *Fougueux*, gracias al trabajo desarrollado por el Centro de Arqueología Subacuática (CAS), dependiente del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico y ubicado en Cádiz. Creado en 1997 para detectar, investigar, conservar y difundir el patrimonio arqueológico sumergido de toda Andalucía, el CAS se planteó como primer reto la realización de una carta arqueológica subacuática para hacer una evaluación general de los yacimientos conocidos y la posible situación de otros muchos.

El interés por localizar restos de la batalla de Trafalgar, posiblemente el mayor conflicto naval de la historia, surgió enseguida a raíz de los datos acumulados en dicha carta arqueológica. “Localizamos algunos pecios que podían corresponderse con ese tema, gracias a restos localizados por gente del mar, buceadores y pescadores, que nos dieron información para que fuéramos a investigar. Nos pareció que algunos podían ser pecios de Trafalgar y montamos un proyecto específico para encontrar algunos de esos barcos y buscar indicios que nos permitieran ponerles nombre”, explica Carmen García Rivera, directora del centro.

Como siempre que se plantea una investigación de este tipo, el primer paso fue tratar de recopilar toda la información documental para establecer las zonas probables de hundimiento de los

CAS-IAPH



Cañones del pecio *Camposoto*, en San Fernando, Cádiz, pertenecientes al navío *Fougueux*.

La conservación mediante rayos gamma

En la ciudad de Grenoble se instaló en 1970 el CEA, un centro de tratamiento de piezas arqueológicas mediante el uso de radiaciones gamma. Sobre la base de este laboratorio, y por iniciativa de diferentes entidades públicas francesas, en 1997 se creó ARC-Nucléart, dedicada a la conservación y restauración de objetos pertenecientes al patrimonio histórico y cultural a través de diversos medios, aunque con especial atención al uso de la radiación.

En 1973, el CEA desarrolló un sistema de tratamiento de objetos subacuáticos para su estabilización y conservación, denominado “Nucléart húmedo”, a demanda de un arqueólogo francés que realizaba excavaciones en el lago Paladru, en Isère. El procedimiento consistía en sustituir el agua por acetona con poliestireno e inducir después la polimerización mediante la radiación gamma. Gracias a ese sistema, 40 años después miles de objetos se mantienen perfectamente consolidados y conservados, incluidas embarcaciones de gran tamaño.

El sistema se mejoró en los años 80 mediante el uso de otros materiales resinosos sensibles a la radiación, como el polietilenglicol (PEG), con la ventaja de que estos procesos son reversibles. Ahora un nuevo sistema, denominado “Nucléart mixto”, combina las ventajas de ambos métodos y permite aplicarlo al tratamiento de obje-

tos compuestos por metal y madera, además de reducir el tiempo de procesado.

ARC-Nucléart también utiliza las radiaciones en los tratamientos de conservación y restauración para la destrucción de microorganismos y pequeños insectos en materiales orgánicos y porosos, como la madera, el cuero y las fibras.

Para todo ello dispone de unas instalaciones que ocupan una superficie de 3.000 m² en Grenoble, donde cuenta con unidades de impregnación de resinas, sistemas de liofilización, generador de radiación gamma, taller de restauración, sala de cuarentena, cámaras frías, laboratorio de investigación y gestión informática de las colecciones.



Restos de embarcaciones restauradas por ARC-Nucléart en Grenoble.

ARC-NUCLÉART

barcos porque, según García Rivera, “un hecho característico de Trafalgar es que los barcos no se hundieron en el escenario del combate, frente al cabo de Trafalgar, salvo el *Aguiles* porque le explotó la santabárbara. Los restantes 14 barcos se hundieron después, cuando ya están desarbolados y sin capacidad de maniobra, tratando de buscar refugio en puertos cercanos, y se desata un fuerte temporal del suroeste sobre ellos, que los empuja

contra las costas de Huelva y Cádiz. En estas condiciones, las fuentes documentales ofrecen una información imprecisa de tipo: ‘se hunde frente a Arenas Gordas, o frente a Carboneras, o en la playa intermedia denominada Camposoto...’, pero cotejando con los indicios que teníamos vimos ciertas coincidencias y nos pusimos a trabajar sobre dos yacimientos que podían corresponder con el *Fougueux* y el *Bucentauro*”.

Labor documental

“Hacía tiempo que la gente había encontrado cañones, pero no se sabía a qué podían pertenecer, porque cañones hay muchos por todas partes, pero cuando vimos que coincidían algunos yacimientos conocidos con los datos obtenidos de la documentación, empezamos la intervención para comprobar si se trataba de dos barcos de Trafalgar”, explica Carlos Alonso, responsable del Área de Documenta-

ción y Difusión del CAS. En concreto, las fuentes indicaban que el *Fougueux* se hundió en la playa intermedia entre Camposoto y Santi Petri, y que el *Bucentauro* lo hizo al intentar entrar en Cádiz y chocar con los bajos del castillo de Santa Catalina. Para la localización fueron decisivos incluso “los cuadernos de bitácora de los barcos ingleses, que pudimos consultar, porque en ellos se indicaba el arrastre que habían hecho de algunos barcos y citaban el lugar en el que luego los abandonaron”, dice Alonso.

Tras decidir intervenir, el reto era comprobar si los restos correspondían cronológicamente con la época y si se trataba de buques franceses, como se suponía, y todo ello mediante una intervención que dañase lo menos posible el yacimiento. “Hicimos pequeños sondeos para estudiar la estructura del barco en el caso del *Fougueux*, porque del *Bucentauro* no se conservaban restos del casco, y analizamos algún cañón de hierro in situ, descomprimiendo aquellas partes que podían proporcionarnos información, como la faja alta de culata, que puede indicar la fundición donde se ha hecho y el año. Y también analizamos los materiales que podía haber en superficie o que se habían encontrado en los sondeos”, dice García Rivera.

Aquellas intervenciones fueron suficientes para contrastar los datos obtenidos con los que constaban en las fuentes documentales. “Todo ello nos llevó a la conclusión, con un nivel muy alto de seguridad, de que efectivamente estábamos ante los restos del *Bucentauro* y del *Fougueux*”. Aunque la directora del CAS reivindica la importancia del conjunto de datos, y le cuesta elegir las piezas más significativas, porque “todas lo son”, algunas de ellas resultan esclarecedoras: “por ejemplo, una moneda de Luis XVI te aporta información evidente, pero otros elementos que aparentemente no tienen ningún valor, como una llave de



Técnico del CAS, restaurando piezas del pecio mercante de San Sebastian (Cádiz).

chispa de un cañón, te permite datar el yacimiento ya que se introdujo en Francia en 1803”. Otro detalle que aporta una clave importante es la botonadura de los uniformes, como las recuperadas del *Fougueux*, pertenecientes al regimiento 79, que coincide con la información de las fuentes documentales, que dicen que dicho regimiento llegó a El Ferrol para trasladarse después a Trafalgar e incorporarse a ese barco.

Pero también hay que tener cuidado con indicios que pueden conducir a falsas interpretaciones. Por ejemplo, según explica García Rivera, “en las primeras fases de trabajo sobre el *Fougueux* nos salió una moneda inglesa, pero sabemos que en el momento del hundimiento había sido apresado y había una dotación inglesa a bordo”. Misterio resuelto.

Otros restos facilitan una valiosa información sobre la vida a bordo de los barcos. Así, entre los objetos recuperados se encuentran restos de calzado, lentes, fichas de dominó... Y es que, como dice García Rivera, “no olvidamos la parte humana, la información que te proporcio-

na una pieza en su contexto porque estás viendo el uso que tuvo. Es como abrir una burbuja que te llega desde el pasado”.

Cada yacimiento es único

El caso de los dos barcos franceses de Trafalgar es un buen ejemplo del modo habitual de trabajar en arqueología subacuática aunque, como dice Gustau Vivar, del Centro de Arqueología Subacuática de Cataluña (CASC), dependiente del Museo Arqueológico de esta comunidad y situado en Girona, “cada yacimiento es un mundo. Podemos encontrar un barco que lleve 20.000 piezas de vajilla bien conservadas, o ánforas con residuos orgánicos de su contenido, otros donde se conserve bien el casco y otros en los que no quede nada de su estructura”. Y es que, como se encarga de subrayar, “hacemos el mismo trabajo que el arqueólogo terrestre, con la única diferencia de que el trabajo de campo lo hacemos debajo del agua. Empezamos con estudios de documentación, a veces a partir de indicios como la toponimia o las cosas que la gente de los lugares sabe, y tenemos una

carta arqueológica que se actualiza constantemente y que tiene 822 yacimientos localizados en la actualidad”.

La recopilación de datos a partir de fuentes documentales es una tarea compleja, en unos casos porque los testimonios son escasos, pero en otros, como todo lo que tiene que ver con el tráfico marítimo entre España y la América hispana durante los siglos de colonización, porque es ingente. “Tenemos localizados 1.600 yacimientos en Andalucía, y debe haber un número incalculable de otros que desconocemos. Nosotros somos muy pocos y gastaríamos mucho tiempo y dinero en encontrar lo que buscamos —dice Carlos Alonso—. Por eso, intentamos llegar a acuerdos de colaboración con investigadores de diferentes universidades y crear una especie de red virtual que alimente bases de datos conjuntas para el intercambio de información. Además, tenemos el problema de que cada vez hay menos vocaciones, no encontramos gente que quiera investigar en fuentes documentales y que sea capaz de leer documentos antiguos”.

Como en el caso del centro gaditano, en el de Girona actúan a partir de esos indicios conocidos o que les comunican. “Tenemos colaboradores en toda Cataluña que cuando descubren movimientos del fondo nos avisan o restos que afloran a la superficie o son arrastrados a la playa y tratamos de determinar su origen”. También se sujetan al principio de mínima intervención y protección de los yacimientos in situ, ya que “se trata de una de las directrices que marca la UNESCO y además es una cuestión económica. Extraer el material es muy caro y solo lo hacemos cuando lo consideramos necesario, debido a su complejidad o importancia científica o que puedan ser destruidos, ya sea de forma natural o por expolio humano”.

En su caso, la variedad de yacimientos incluye mucho más que barcos naufragados, como ocurre con el puerto sumergido de Ampurias, que “es el gran puerto griego de la península, pero no estaba documentado que hubiese otro puerto romano. Lo localizamos en 1995 y su datación es del siglo II o comienzos

del I antes de Cristo. Creemos que se hundió por fuertes temporales”. Otro caso llamativo es el de un poblado neolítico sumergido bajo las aguas del lago de Banyoles denominado La Draga. “Actualmente se encuentra a nivel freático y conserva todo el material orgánico. El verano pasado encontramos un arco, que es de los pocos que se conservan de esa época, y hay muchos objetos de sílex y mangos de madera, todo ello muy bien conservado”.

Viaje al fondo del mar

Una vez realizada la labor documental se pone en marcha la operación de localización y prospección del yacimiento. “Hace años la prospección estaba limitada por la capacidad física de los buceadores, pero ahora contamos con medios técnicos que permiten trabajar a mayor profundidad y con mayor visibilidad. Son medios geofísicos como el sonar de barrido lateral, la ecosonda multihaz y el perfilador de fondos”, explica Milagros Alzaga, investigadora del Centro de Arqueología Subacuática de Cádiz. Los dos primeros, con diferentes características de extensión y resolución, permiten barrer el fondo marino y realizar una especie de mapa del mismo; el perfilador proporciona un perfil del subsuelo. “También utilizamos magnetómetros para detectar elementos férricos, como cañones, anclas e incluso objetos de cerámica si están en grandes concentraciones”.

Localizado el pecio, entran en juego los buceadores, encargados de realizar el trabajo de campo. “El límite de seguridad al que se puede llegar está entre 40 y 50 metros, pero normalmente se trabaja a menos profundidad. El año pasado realizamos un sondeo a 17 o 18 metros, según la marea, con tiempos de estancia de una hora, para no entrar en descompresión, y luego un descanso de tres horas para eliminar las burbujas del cuerpo y poder volver a ba-



Proceso de estabilización (desalación) de materiales de la Caleta (Cádiz).

Exposiciones emblemáticas

Es frecuente que muchos museos incluyan en sus materiales restos procedentes de yacimientos submarinos, pero en ocasiones la exhibición completa de algunos de ellos ha dado lugar a exposiciones de especial atracción, como ocurre con el museo Vasa, en Estocolmo, y la exposición “Huracán, 1724”.

El 10 de agosto de 1628, el mayor buque de guerra de la marina sueca se hundió apenas unos cientos de metros más allá del puerto de Estocolmo y minutos después de haber iniciado su primer viaje. El exceso de cañones y un diseño poco adecuado al tamaño y peso del barco acabaron con el *Vasa*, llamado así en honor de la dinastía reinante. En 1956, el buque fue localizado y reflotado. Sometido a procesos de restauración adecuados, se construyó un museo donde albergarlo que se ha convertido en una de las atracciones más visitadas de la capital sueca. Su conservación en las frías aguas bálticas había permitido recuperar prácticamente todos los elementos del barco, aparejos, objetos de navegación y de uso de los marineros, e incluso sus velas. Los visitantes pueden sumergirse por completo en el barco y observar sus dependencias y mobiliario como si viajaran en el tiempo hasta el siglo XVII.

En el año 2000 se abrió al público la exposición “Huracán, 1724”, con numerosos restos procedentes de los barcos *Nuestra señora de Guadalupe* y *Conde de Tolosa*, pertenecientes a la llamada flota de azogues, que transportaba mercurio para la extracción de plata en Centroamérica, y que naufragaron por un temporal en 1724. La variedad y número de los objetos incluidos en la muestra, inaugurada en el museo CosmoCaixa de Madrid y exhibida después en el de Barcelona y en algunas otras poblaciones, permitía hacerse una idea muy completa de la vida en aquellos barcos. “La idea surgió durante un viaje a la República Dominicana, donde se habían encontrado restos de estos barcos que estaban siendo extraídos por una empresa americana. Nosotros les pedimos unas 500 piezas para hacer la exposición, con el compromiso de devolverlas después, y colaboramos con ellos restaurando muchos de los objetos extraídos”, dice Jorge Wagensberg, por entonces director del Museo de la Ciencia de La Caixa en Barcelona y responsable del proyecto. Y añade que “fue un reto muy especial porque tuvimos que inventar una museografía diferente. Literalmente poníamos al visitante en la piel de un marinero del siglo XVIII”.

El *Vasa* tal como se muestra en su museo de Estocolmo.



MUSEO VASA

jar. Lo hacemos siempre por parejas y con una persona en superficie vigilando por seguridad”, explica la investigadora del CAS. El objetivo del trabajo es estudiar el yacimiento in situ, respetando al máximo su conservación. Por ello, se realizan dos tipos de prospecciones, el sondeo, que consiste en excavar en un punto determinado para obtener datos del contenido en profundidad, y la excavación, que consiste en retirar los sedimentos de una zona superficial en forma de cuadrado de dos metros de lado, utilizando mangas de succión. “Una vez limpio, etiquetas el material que ha quedado visible y se toman fotografías que luego se superpondrán a otras para formar una imagen completa del yacimiento.

“Se trata de posicionar el yacimiento, documentarlo, fotografiarlo, tomar medidas y datos para poderlo adscribir cronológicamente e incluso identificarlo”, dice Alzaga. Para realizar la investigación, suele ser importante la extracción de objetos, pero de acuerdo con las recomendaciones internacionales esta actuación se limita al máximo y en el caso de piezas grandes, como cañones, suele bastar con el estudio directo bajo el agua, donde se limpia, se obtienen los datos deseados, se obtiene incluso un molde y se vuelve a proteger aplicando una resina epoxi.

El paso siguiente consiste en la conservación de los objetos extraídos, ya que la permanencia bajo las condiciones subacuáticas ha modificado sus características. Cuando un barco se hunde todos sus componentes em-

piezan a deteriorarse y a cubrirse de sedimentos hasta que alcanza un punto de equilibrio, que vuelve a romperse cuando se extrae. Los objetos de madera son especialmente frágiles, ya que se adaptan al medio acuático absorbiendo agua y sal y al secarse se deterioran con mucha rapidez. Según Gustau Vivar, “lo que extraes no es ya madera. Tiene todo el aspecto de serlo, pero si lo sacas del agua y lo dejas secar en tres días se pierde completamente, se deshace, se convierte en polvo. En general, para el material orgánico tenemos dos procesos, uno está basado en una resina, una cera soluble en agua denominada polietilenglicol (PEG) y lo que hacemos es intercambiar el agua por el PEG. El otro sistema es la liofilización, que consiste en sublimar el agua, pasando directamente de sólido a gaseoso. Para ello metemos la pieza en una cámara de vacío a temperaturas muy bajas y también se somete a saturación con PEG”.

En el caso de los metales, su permanencia bajo el agua produce una intensa oxidación y la formación de concreciones mediante la adhesión de sedimentos, arenas y pequeñas conchas. Esa concreción se convierte en el protector de la pieza, que queda así estabilizada. “Lo primero que hacemos es un reconocimiento visual, y en el caso de objetos con mucha concreción se hacen radiografías para saber qué hay dentro y actuar adecuadamente; luego vas eliminando la concreción con cinceles pequeños. Más tarde lo pasamos a los tanques de desalación, porque si las sales se secan cristalizan. Después se seca de forma controlada. Todo este proceso es lento y delicado, y cuando acaba tienes que consolidar el material, protegerlo e incluso restaurarlo reconstruyéndolo, pero de forma que se distinga lo original. Mientras, analizamos el material, pero si aún no está estabilizado tienes que estar continuamente mojándolo”, explica Milagros Alzaga.



Técnicos del CAS junto a un obús de bronce del siglo XVIII encontrado en aguas de Huelva.

El estudio de las piezas permite obtener datos de su composición, forma y utilidad. Los investigadores dibujan las piezas, digitalizan la información, realizan informes y al final publican los resultados y los presentan en congresos. En el CASC, según Gustau Vivar, “realizamos una publicación por cada yacimiento estudiado, en forma de monografías que editamos cada uno o dos años. Ya hemos sacado nueve. También realizamos trabajos a menor escala, artículos científicos de los que ya hemos escrito cerca de 50. Normalmente la publicación se realiza cuando el trabajo ha terminado, pero a veces hacemos pequeños artículos de aspectos parciales o de divulgación”. En Cádiz, según Carlos Alonso, escriben “muchos artículos en el *Boletín PH*, del Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico. También hemos publicado en revistas especializadas, nacionales

y extranjeras, capítulos de libros y catálogos de exposiciones. Queremos también sacar un monográfico sobre el *Fougueux*, pero estamos a la espera de conseguir financiación”. El centro andaluz ha realizado también una intensa actividad divulgativa, con cuatro exposiciones, una exposición virtual y otras obras como el libro *Matarile. Sumérgete en la Arqueología Subacuática*, dirigido especialmente a los jóvenes.

Además, cuando el estudio de un yacimiento termina, las piezas extraídas pasan a un museo para su conservación y exhibición. En el caso catalán, van a parar al Museo Arqueológico de Cataluña, mientras que en Andalucía se destinan a los museos provinciales que corresponda, según la ubicación del yacimiento. Y además España cuenta con el Museo Nacional de Arqueología Subacuática, ARQVA, situado en Cartagena (Murcia)



Monedas de plata restauradas del tesoro del buque *Nuestra Señora de las Mercedes*.



Uno de los motores del *Saturno V* descubiertos a más de 4.000 metros de profundidad.

y que acumula una importante colección de piezas de diversas procedencias.

En busca de espectáculo

También hay una arqueología subacuática furtiva, más orientada al espectáculo, al enriquecimiento o a ganar presencia mediática que a la investigación histórica y la conservación. Quizás el arranque de esta faceta fue el hallazgo, en 1985, de los restos del *Titanic*, a 3.800 metros de profundidad en las heladas aguas del Atlántico norte. Aunque sus descubridores, Robert Ballard y Jean Louis Michel, decidieron respetar el yacimiento, otras expediciones con menos escrúpulos se dedicaron a extraer objetos del pecio y a venderlos en subastas.

Con semejante espíritu depredador nació en 1994 la empresa estadounidense Odyssey Marine Exploration, dotada con varios buques especializados y un sofisticado robot submarino con el que consiguieron descubrir y expoliar varios barcos hundidos en diferentes lugares del mundo. En octubre de 2007, la empresa anunció el hallazgo de la fragata *Nuestra Señora de las Mercedes* y la extracción de los tesoros que contenía, esencialmente cerca de 600.000 monedas de plata y 212 de oro. Como es bien sabido, tras numerosos pleitos y dilaciones, el tesoro fue entregado a España, como su legítimo dueño, y se exhibirá en el Museo Nacional de Arqueología Subacuática de Cartagena.

El proceso de recuperación fue lento y complicado. “Tuvimos que reunir

pruebas documentales para asegurar que se trataba de la *Mercedes*”, explica Carmen Marcos, directora del Museo Arqueológico Nacional y participante en aquella misión, como experta en numismática, ya que “la mayor parte del material extraído, salvo una bala de cañón, un fragmento de madera, unos lingotes de cobre, otro de estaño y tres cajitas de oro, eran monedas. Hubo que consultar y presentar los registros de salida del puerto de El Callao, en Lima, visitar Tampa para analizar las monedas que custodiaba Odyssey, ver las imágenes y vídeos que hizo la empresa, demostrar que formaban parte de un conjunto único, determinar el rango de fechas y el lugar de acuñación. Y con todo ello se hizo un informe que demostraba su procedencia”. Así se consiguió resolver este caso de flagrante expolio.

El número de pecios localizados y rescatados se ha multiplicado en los últimos años, merced a la utilización de minisubmarinos y robots especializados. El más reciente, entre los que han merecido mayor atención mediática, ha sido la recuperación de dos de los cinco motores F-1 del cohete *Saturno V* que el 16 de julio de 1969 lanzó la nave Apolo XI hacia su destino, el Mar de la Tranquilidad de la Luna, con Neil Armstrong, Buzz Aldrin y Michael Collins a bordo. El hallazgo se realizó no muy lejos de la costa de Florida, a 4.267 metros de profundidad, en una expedición financiada por Jeff Bezos, fundador de Amazon.

Desde vestigios prehistóricos hasta restos de la carrera espacial, el mar alberga un número inabarcable de testimonios de nuestra historia. La tarea de recuperarlos para la memoria colectiva es tan inmensa que probablemente nunca se completará, pero cada yacimiento estudiado es un tesoro en sí mismo y merece la pena añadir la información que encierra a la reconstrucción de la huella humana sumergida bajo el agua. ©

REPORTAJE



› Manuel Ansele,
periodista científico

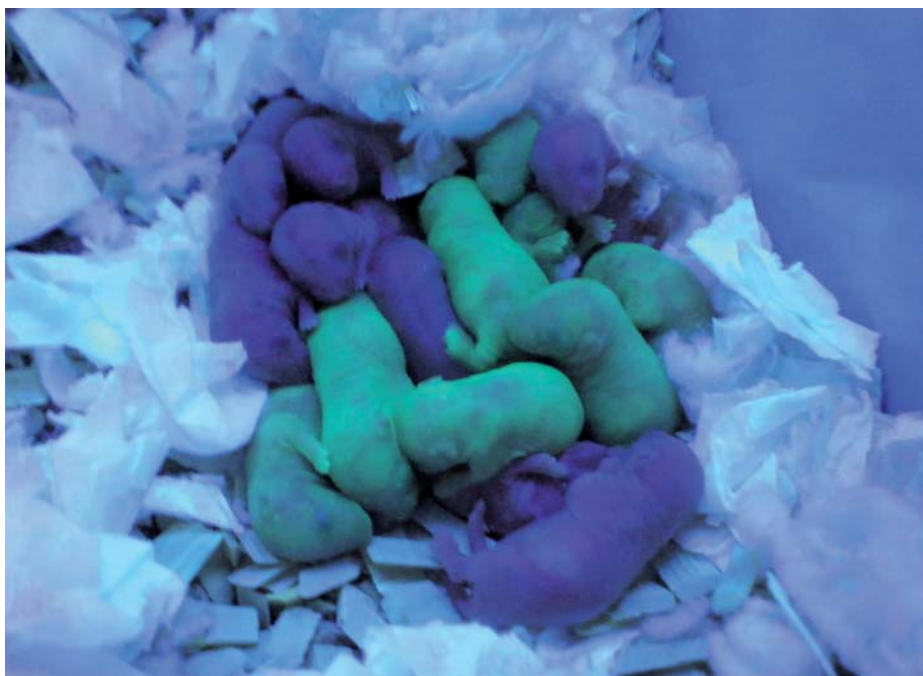
El empleo de ratones modificados genéticamente es esencial para estudiar las enfermedades más prevalentes

Benditos roedores

Son pequeños, manejables, prolíficos y, pese a las apariencias, tan parecidos a nosotros mismos que son ideales para estudiarnos. Los ratones y los seres humanos compartimos más del 95% de los genes, y casi todas las enfermedades presentan un componente genético. Mediante técnicas sofisticadas, los científicos apagan y encienden a voluntad genes de los roedores para ver qué pasa y, gracias a estos avances, ya han conseguido superratones inmunes al cáncer o que se iluminan ante el avance de un tumor. El objetivo ahora es saber para qué sirve exactamente cada uno de sus 22.000 genes.

Un día, el estudiante de Bellas Artes británico Koby Barhad se metió en la web de subastas eBay y se compró un supuesto pelo de Elvis Presley por 22 dólares. Sin moverse del ordenador, el jovenzuelo buscó otra web en la que pudiera encargar la lectura del ADN del *Rey del Rock* a partir de su cabello. Y la encontró con facilidad: la de la empresa canadiense Genetrack Biolabs. A continuación, y siempre sin mo-

verse de la silla, Barhad buscó una tercera web en la que poder encargar la modificación de los genes de un ratón de laboratorio añadiendo ADN de Elvis. Y, de nuevo, apareció: la de la estadounidense inGenious Targeting Laboratory. El artista ya tenía todo para fabricar lo que llama “un ratón Elvis”. Jamás lo hizo, pero Barhad anunció el proyecto en el verano de 2012 y consiguió lo que quería: promover una reflexión ética y filosófica



Ratones con proteínas fosforescentes que permiten localizar los tumores inducidos.



Ratones genéticamente manipulados del animalario del CNIO. A la derecha, Juan Martín Caballero en el laboratorio.

sobre la investigación con ratones transgénicos. Arte puro.

Seis meses antes, el investigador español Manuel Hidalgo había presentado el caso de una chica afectada por un carcinoma adenoide quístico, un tumor maligno de las glándulas salivales. La joven no respondía a los tratamientos habituales. Sus médicos estaban obligados a recurrir a terapias experimentales, sin eficacia completamente demostrada, y no sabían cuál elegir. El equipo de Hidalgo, del Centro Nacional de Investigaciones Oncológicas (CNIO), extrajo una muestra del cáncer de la paciente y lo hizo crecer en varios ratones. Cada uno de ellos desarrolló una copia exacta del tumor de la muchacha, y en cada uno de ellos Hidalgo probó un tratamiento diferente. El más efectivo fue seleccionado para tratar a la chica y durante seis meses el progreso del cáncer se bloqueó. Ciencia pura.

“Lo del ratón de Elvis no es ciencia”, subraya Juan Martín Caballero, molesto con que se frivolicé con una labor que él lleva haciendo toda su vida. Este veterinario puso en marcha los animalarios del Centro de Investigaciones Biológicas y del Centro Nacional de Biotecnología, ambos

del CSIC, y también el del propio CNIO. Ahora dirige el animalario del Parque de Investigación Biomédica de Barcelona: 4.000 metros cuadrados con más de 60.000 ratones mutantes. Una serie de robots se encarga de limpiar sus jaulas, en una atmósfera libre de gérmenes patógenos. Allí, los científicos tocan los genes de los ratones como las teclas de un piano. Colocan una especie de interruptor en uno de sus

22.000 genes y ven qué cambios se producen al apagarlo o encenderlo, para averiguar la función de ese gen.

Por las manos de Martín Caballero han pasado decenas de miles de ratones modificados genéticamente: con síndrome de Down, diabetes, Alzheimer, Parkinson, sida, obesidad, cánceres de todo tipo. “Hay ratones hasta para estudiar la enfermedad de las vacas locas”, apunta.



Instalaciones del animalario del Parque de Investigación Biomédica de Barcelona (PRBB).



Sagrario Ortega, responsable de la Unidad de Ratones Transgénicos del CNIO.

Cada uno de ellos, cada línea diferente de ratones, puede ser el fruto de cinco años de trabajo. Un ratón puede ser la tesis doctoral de un estudiante. Así que su valor es prácticamente incalculable. “Hace siete años, cuando el dólar estaba más boyante, una farmacéutica compró tres ratones macho modelo para estudiar el alzhéimer por un millón de dólares”, relata el veterinario.

Una herramienta esencial

Hoy en día, la investigación biomédica sería imposible sin ratones. Gracias a su pequeño tamaño, su fácil manejo, sus apenas 20 días de embarazo, su alto número de crías y su cercanía al ser humano (compartimos un 95% de los genes), son ideales para la investigación científica de las enfermedades. Martín Caballero recuerda el caso del Jackson

Laboratory, “la catedral del mundo del ratón”, en Bar Harbor (EE UU). Su declaración de principios es pretenciosa: “Descubrimos las bases genéticas para prevenir, tratar y curar las enfermedades humanas, y posibilitamos la investigación y la educación en la comunidad biomédica global”. Pero no es una exageración.

En 2011, esta institución sin ánimo de lucro distribuyó tres millones de ratones a más de 20.000 laboratorios de más de medio centenar de países. 26 premios Nobel de Medicina han utilizado ratones del Jackson Laboratory. El genetista estadounidense George D. Snell, por ejemplo, averiguó a finales de la década de 1940, gracias a roedores del Jackson, cómo el cuerpo humano diferencia lo propio de lo ajeno. El descubrimiento abrió paso al trasplante seguro de órganos. Solo en España se han llevado a cabo más de 50.000 trasplantes de órganos, en parte gracias a los avances de Snell.

La bioquímica Sagrario Ortega es una de las asiduas a los ratones del Jackson, aunque también produce sus propias líneas. En 2012, Ortega desarrolló ratones modificados genéticamente para que sus

Un mapa de la enfermedad

Para saber cómo funciona una enfermedad o cómo curarla, no basta con crear un ratón transgénico. Hay que saber qué pasa en su interior. Y los últimos avances en imagen molecular son clave para ver dentro de estos roedores de manera no invasiva y saber, por ejemplo, cómo evoluciona un cáncer o cómo funciona un tratamiento experimental. La tomografía por emisión de positrones (PET) es una de las técnicas más destacadas. Los científicos marcan una molécula análoga a la glucosa con un isótopo radiactivo y se la meten al ratón en vena. Como los tumores malignos son voraces y requieren más glucosa que las células normales, las moléculas marcadas con el isótopo radiactivo se acumulan en las células cancerígenas. En cambio, en un ratón modificado genéticamente para estudiar la epilepsia, por ejem-

plo, la parte epileptogénica del cerebro está muerta y emplea menos glucosa. Las cámaras de positrones o cámaras PET detectan estos cambios en el nivel celular. Y para mejorar la localización anatómica de estas imágenes, los expertos utilizan el PET combinado con la tomografía axial computarizada (TAC), una técnica que aprovecha la diferente absorción de los tejidos cuando son atravesados por rayos X. Con la fusión del PET y el TAC, los investigadores pueden confeccionar un mapa perfecto de lo que está ocurriendo dentro del ratón. Estas técnicas de imagen médica también son adecuadas para buscar qué cambios se producen en un ratón al apagar o encender uno de sus genes. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la radiación que reciben los animales no es despreciable, lo que limita su uso. 

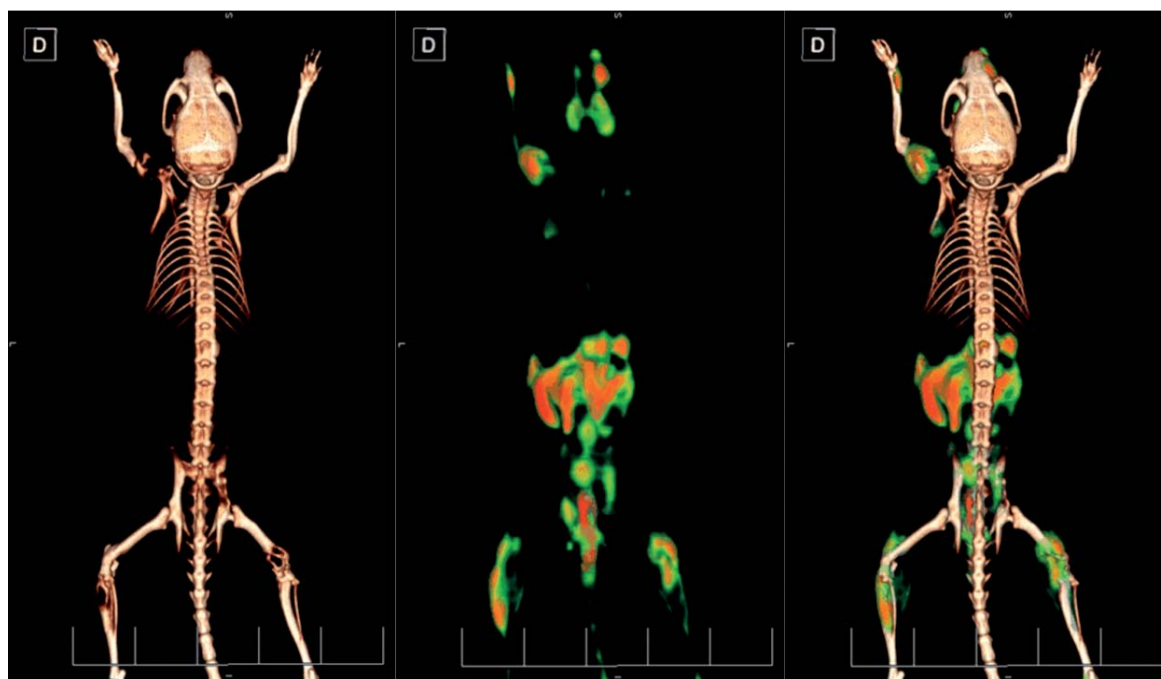


Imagen de PET-TAC en un ratón con metástasis en los huesos.

ganglios linfáticos emitan luz cuando van a ser invadidos por células tumorales. Es un avance trascendental, ya que las células cancerígenas suelen usar el sistema linfático como autopista para expandirse por todo el cuerpo humano. Gracias a los roedores luminosos de Ortega, directora de la Unidad de Ratones Transgénicos del CNIO, los científicos de todo el mundo podrán estudiar qué tipos de tumores usan esta vía de diseminación y podrán ensayar fármacos para bloquearla.

“Uno de nuestros objetivos es crear líneas de ratón con utilidad para investigar el cáncer”, explica Ortega. Sus ratones luminosos tienen varios genes adicionales, que se activan en las paredes de los vasos linfáticos. Uno de ellos es el gen de la proteína luciferasa, que hace que las luciérnagas emitan luz. Otro pertenece a una medusa típica de las costas de Norteamérica: el gen de la proteína fluorescente verde. Gracias a estos añadidos genéticos, los propios tejidos del ratón alertan en tiempo real del avance del cáncer.

“El coste de hacer uno de estos ratones, sin contar el gasto de personal, puede rondar los 15.000 euros. Y si se lo en-

cargas a una empresa externa, unos 75.000”, detalla Ortega. El animalario del CNIO genera y mantiene decenas de miles de ratones modificados genéticamente cada año, protegidos por una barrera libre de gérmenes patógenos. Ahora mismo alberga unos 30.000.

A grandes rasgos, hay tres tipos de ratones modificados genéticamente: los transgénicos (a los que se añade un gen nuevo), los *knockout* (en los que se apaga un gen) y los *knockin* (en los que se sustituye un gen por otro). La propia Ortega comenzó a generar ratones *knockout* en el Centro Médico de la Universidad de Nueva York en 1992. En 1998 fue fichada por el CNIO e introdujo esta técnica en España.

Cómo fabricar un ratón

La receta para crear un ratón transgénico convencional es sencilla. Desde finales de la década de 1970, el método clásico es extraer un ovocito fecundado de una hembra recién apareada e inyectar en él la secuencia del gen que se quiere estudiar. Si hay suerte y el ADN cae en un buen sitio del genoma, el nuevo gen se activa. Los in-

vestigadores implantan entonces el ovocito en una madre adoptiva, que a los 20 días pare su camada. Alrededor de la tercera parte de las crías nacen con el nuevo gen integrado en su genoma.

Poco después llegó otra técnica: la mutagénesis dirigida. El ADN se introduce en células madre pluripotenciales, obtenidas de embriones en fases muy tem-

pranas y todavía capaces de convertirse en cualquier cosa, desde un cerebro a un hígado. Esas células se modifican genéticamente en el laboratorio, se inyectan en embriones y estos se reintroducen en ratonas pseudogestantes tras haberse apareado con un macho estéril. Las crías nacen con el gen introducido.

De la misma manera, es posible modificar las células madre embrionarias para desactivar un gen. Se obtienen así los ratones *knockout*, esenciales para averiguar la función de un gen concreto, además de constituir un modelo para estudiar enfermedades humanas y probar fármacos experimentales.

Ortega anuncia que su centro se va a incorporar a uno de los proyectos científicos de vanguardia en el siglo XXI: el Consorcio Internacional de Ratones *Knockout*, una iniciativa promovida por EE. UU. que pretende generar un ratón *knockout* por cada uno de los 22.000 genes de la especie. Ahora mismo solo hay una tercera parte de los genes con su *knockout*. El ser humano se enfrenta a su genoma como un niño frente a un libro escrito en arameo.



NGFN

Ratón modificado genéticamente para tener predisposición a la obesidad.

Pero cuando termine el proyecto, ese niño podrá recitar los cinco rollos del Pentateuco bíblico.

Algunos de los ratones creados hasta la fecha son proezas de la biomedicina. Un ejemplo es una cepa de ratones transgénicos del CNIO capaces de vivir un 40% más de tiempo que la media de la especie. Como si un humano viviera 120 años. Para conseguirlo, sus creadores, liderados por la bioquímica María Blasco, activaron tres genes (p53, p16 y p19ARF) encargados de evitar que las células se transformen en cancerígenas, y un cuarto gen responsable de aumentar la telomerasa, una proteína que detiene el envejecimiento de las células, al precio de multiplicar el riesgo de sufrir un cáncer. Con las cuatro teclas pulsadas a la vez, el equipo de Blasco logró ratones mucho más longevos y sin cáncer.

Y la investigadora, actual directora del CNIO, no se paró ahí. No se resigna ante el tope genético de nuestra especie, en sus propias palabras. Los seres humanos y los chimpancés comparten el 99% de sus genes, pero las personas pueden vivir 100



CNIO

Un proyecto intenta crear 22.000 tipos de ratones, cada uno para expresar un gen humano.

años, mientras que los simios no pasan de 50. Mínimos detalles genéticos marcan la diferencia. Científicamente sería posible conseguir un chimpancé que viviera como un humano y, por lo tanto, debe de ser posible que una persona viva 200 años como algunas especies de tortugas. Para lograrlo, antes habrá que tocar las teclas adecuadas en el piano del genoma del ratón de laboratorio.

Éxito compartido

“El mundo de la investigación con ratones modificados genéticamente suele ser solidario”, explica el biólogo Luis Miguel Criado, jefe de la Unidad de Transgénesis del Centro Nacional de Investigaciones Cardiovasculares (CNIC). Normalmente, un investigador invierte años en generar una línea nueva de ratones. Trabajan prácticamente en secreto hasta que su logro se publica en una revista científica. Entonces, comienza el baile. Los ratones se intercambian por otros en centros de todos el mundo, para estudiarlos o para cruzarlos y conseguir múltiples cambios genéticos. Cientos de miles de ratones viajan cada año de una punta a otra del planeta como parte de este trueque.

“Hay ratones con secuencias de ADN humano. Hasta cierto punto, esto es humanizar una especie que no es humana”,

subraya Criado. Los científicos han conseguido incluso producir ratones con grandes fragmentos de ADN humano, un logro especialmente interesante para crear modelos de enfermedades muy complejas, como el síndrome de Down o la enfermedad de Huntington, antes conocida como el baile de San Vito.

Criado tiene su escritorio lleno de muñequitos de ratones. “Al final les cojes cariño, son como tus amigos”, confiesa. En su centro estudian, gracias a los ratones, cómo reparar el corazón tras un infarto y cómo evitar malformaciones congénitas del sistema cardiovascular, entre otras muchas cosas. “Algunas personas piensan que nuestro trabajo es crear monstruos, pero nosotros siempre tenemos en mente las tres R: reemplazo, reducción y refinamiento”, señala Criado. El “reemplazo” consiste en sustituir los animales vivos por simulaciones por ordenador u otras técnicas siempre que sea posible. Con la “reducción” buscan disminuir el número de animales empleados, aunque haya que compartir ejemplares con otros investigadores. Y el “refinamiento” persigue reducir el dolor y las molestias a los ratones empleados. Ciencia pura. Nada de ADN de Elvis Presley. Como mucho, su música en el laboratorio.



El Programa Severo Ochoa distingue a los 13 centros de investigación más avanzados de España

En busca de la excelencia científica



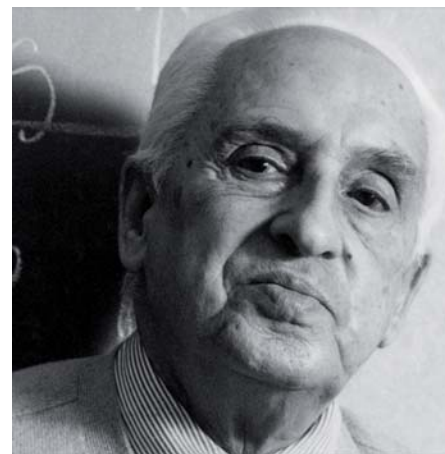
› Pablo Francescutti Pérez,
periodista científico

La excelencia, entendida como liderazgo, calidad y competitividad, es el criterio que el Programa Severo Ochoa, creado en el año 2011, quiere introducir en la gestión de la ciencia. Los 13 centros acreditados hasta el momento, que llegarán en sucesivas convocatorias hasta 40, forman la “selección nacional” de la I+D española, la avanzadilla de la que se espera un efecto dominó sobre el resto del sistema científico. El premio no es solo honorífico sino que supone una financiación adicional para dotarse de infraestructuras y herramientas que ayuden a estos centros a mejorar aún más su competitividad internacional.

El término “excelencia” lo popularizaron Tom Peters y Robert Waterman en 1982, cuando revolucionaron la gestión empresarial con su superventas *In search of excellence*. Esa preciada cualidad se convirtió en el objeto de deseo de los altos ejecutivos, pues aludía al liderazgo que deben ejercer los responsables de una compañía para que esta entregue a sus clientes productos de la mejor calidad y prospere en entornos cada vez más competitivos.

Este concepto de matriz empresarial tuvo tanto éxito que pronto se extendió a otros ámbitos: el deporte, la publicidad, la educación y la sanidad. Finalmente

llegó a los cuarteles generales de la ciencia española con la aprobación del Subprograma de Apoyo a Centros y Unidades de Excelencia Severo Ochoa, lanzado hace dos años por el entonces Ministerio de Ciencia e Innovación y actualmente en fase de ejecución. La iniciativa busca “promover la investigación de excelencia que se realiza en España en cualquiera de los campos de la ciencia”, de acuerdo con el comunicado oficial emitido durante su lanzamiento, con el objetivo último de “propiciar un salto cualitativo en la ciencia española a partir del apoyo a los centros y unidades de investigación de primer nivel internacional que ya existen”. Asimismo,



Santiago Ramón y Cajal y Severo Ochoa representan la excelencia científica española.

mo, aspira a funcionar de revulsivo en la gestión de nuestra I+D, caracterizada por una impronta funcional y serias dificultades para transferir sus resultados a la sociedad.

Seleccionados por Premios Nobel

Para ser acreditados por el programa, los aspirantes deben certificar “un alto nivel de impacto y competitividad en su campo de actividad en el escenario mundial; someter sus actividades de investigación de forma periódica a procesos de evaluación científica mediante comités científicos externos e independientes; desarrollar tales actividades conforme a un programa estratégico que responda a la generación de conocimiento de frontera; disponer de actividades de formación, selección y atracción de recursos humanos a nivel internacional; y mantener acuerdos activos de colaboración e intercambio a nivel institucional con centros de investigación de alto nivel”, de acuerdo con lo indicado en la convocatoria.

A continuación, tienen que pasar la criba de un comité de expertos internacionales (algunos de ellos galardonados con el Premio Nobel), tras presentar sus



Avelino Corma.

programas de investigación y recursos humanos, así como planes de seguimiento y evaluación de los resultados propuestos. Los seleccionados recibirán cuatro millones de euros a lo largo de cuatro años. Transcurrido este intervalo, podrán optar a la acreditación para un segundo período, en concurrencia con nuevos proyectos y centros.

En su primera edición de 2011 se acreditaron ocho centros. En 2012, cinco más. Y se contempla reconocer hasta un máximo de 40 durante los primeros cuatro



Instituto de Ciencias Matemáticas

Un centro mixto del CSIC y las universidades Complutense, Autónoma y Carlos III de Madrid, dedicado a la investigación matemática de alta calidad, el estímulo de la investigación interdisciplinar y la formación pre y postdoctoral internacionalmente competitiva. Además, pretende servir de interlocutor entre la comunidad matemática y los sectores tecnológicos, industriales y financieros.

años del programa. Dado que desde las primeras acreditaciones ha pasado más de un año y medio, se puede considerar que ha transcurrido un lapso de tiempo suficiente como para poder tomar el pulso de la marcha del programa y averiguar el efecto que está teniendo en los beneficiarios.

Dinero fresco y prestigio

De entrada, un aspecto altamente valorado por los consultados lo representa la inyección de fondos frescos que supone. “En una situación de recortes tan preocupantes, la posibilidad de mantener la competitividad internacional y demostrar que la investigación básica tiene repercusión social resulta clave —afirma



Juan Valcárcel.



Joan Guinovart.

Juan Valcárcel, coordinador del Departamento de Regulación Génica, Células Madre y Cáncer del Centro de Regulación Genómica (CRG)—, y sin esta ayuda no tendríamos de esa posibilidad”. En sentido similar se expresa Avelino Corma, responsable del programa en el Instituto de Tecnología Química (ITQ), al compararlo con los proyectos habituales, “que suelen otorgar a grupos de tres investigadores como mucho 200.000 euros repartidos en tres años, ¿qué se puede hacer

con esto?” La cantidad asignada posee un atractivo adicional: “Aunque solo representa un aumento del cuatro por ciento de nuestro presupuesto general, se puede destinar íntegra y libre de gastos



Instituto de Física de Altas Energías

Consorcio creado en 1991 por la Generalitat de Cataluña y la Universidad Autónoma de Barcelona con el objetivo de promover y ejecutar investigaciones teóricas y experimentales en la frontera de la física fundamental, es decir en física de partículas, astrofísica y cosmología. Forma parte de su misión desarrollar detectores de tecnología puntera utilizando los conocimientos adquiridos en laboratorio para fines de interés general.

Instituto de Física Teórica

De reciente creación, este centro mixto del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y la Universidad Autónoma de Madrid es el único del país dedicado exclusivamente a la física teórica, focalizado en la investigación de frontera de la física de partículas y la cosmología.



a la investigación”, apunta Joan Guinovart, director del Institut de Recerca Biomèdica (IRB Barcelona).

Aparte del dinero contante y sonante, los entrevistados coinciden en destacar un beneficio más intangible pero no menos valioso: el prestigio que trae consigo la acreditación. “Es un gran espaldarazo, te singulariza a nivel nacional”,

comenta Manuel de León, director del Instituto de Ciencias Matemáticas (ICMAT). A ello hay que añadir su efecto tonificante en la moral de la plantilla: “Su mayor relevancia es el prestigio conseguido a nivel externo e interno, pues resulta un estímulo extraordinario para los profesionales”, manifiesta Miguel Torres, del Centro Nacional de Investigacio-

nes Cardiovasculares (CNIC). “Lo perciben como una victoria moral, que fortalece la cohesión interna y nos hace más atractivos de cara a los becarios”, apunta Guinovart.

Para el portavoz del Centro Nacional de Investigaciones Oncológicas (CNIO), una ventaja del Severo Ochoa estriba en que con él “la industria, que



Instituto de Ciencias Fotónicas

Es un organismo de investigación y formación en ciencias y tecnologías ópticas emplazado en la localidad de Castelldefels (Barcelona). Allí investigan en telecomunicaciones ópticas, técnicas de detección remota, sensores, información cuántica y fotónica industrial, e incluso en biotecnología. También ofrece un doctorado en ciencias ópticas.

necesita referentes claros sobre dónde invertir con resultados de excelencia, recibe una garantía en cuanto al mejor uso posible de sus aportaciones vía mecenazgo, donaciones y patrocinios, ayudas que son siempre necesarias, pero más aún en un contexto de recortes”.

Aplicaciones variopintas

¿Qué partido concreto se está sacando de los recursos asignados? Una parte se ha canalizado en investigaciones específicas. El CNIC quiere elaborar “un diagnóstico muy temprano y no invasivo de las personas en riesgo de enfermedad cardio-

vascular, tratando de desarrollar nuevas aplicaciones de diagnóstico por imagen primero con animales y luego en humanos, con el apoyo de un socio industrial, la compañía Philips”, explica Torres, co-

responsable del proyecto. El ITQ trabaja en el diseño y síntesis de catalizadores sólidos capaces de reconocer a las moléculas de los reactivos, con intervención de químico-físicos teóricos, químicos inorgánicos y orgánicos, ingenieros químicos y especialistas en ciencia de materiales y en ciencia de superficies. Y el CNIO im-



Miguel Torres.



Barcelona Supercomputing Center

Desde 2005, esta unidad tiene por objetivo desarrollar aplicaciones punteras en ciencias de la computación al servicio de las ciencias de la vida, de la Tierra y la ingeniería. Alberga el superordenador MareNostrum, uno de los más avanzados del mundo. ▶

pulsará la innovación e investigación traslacional “para que el conocimiento generado llegue lo antes posible a los pacientes y médicos en forma de tecnologías y productos que mejoren la manera en que se previene, diagnostica y trata la enfermedad”, expresa su portavoz.

En el campo de las radiaciones destaca el proyecto Cherenkov Telescope Array, una de las infraestructuras científicas más importantes de Europa, que se consagrará a la observación de los

rayos gamma de alta energía, en el cual participa el Instituto de Física de Altas Energías (IFAE). Los expertos del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) estudiarán fenómenos de muy alta energía ocurridos durante el Big Bang y en torno a los agujeros negros, la génesis de los rayos cósmicos y rayos gamma y la física de los campos magnéticos solares y su interacción con la Tierra. El Instituto de Ciencias Fotónicas (ICFO), por su parte, se ha centrado en la luz, especialmente



Instituto de Astrofísica de Canarias

Centro de gran peso internacional en el ámbito de la astrofísica y la astronomía. Cuenta con dos sedes y dos observatorios, situados en las islas de Tenerife y La Palma, en un entorno de

gran calidad astronómica, que en conjunto constituye el Observatorio Norte Europeo. Acoge proyectos de investigación astrofísica y desarrollo tecnológico, una escuela de postgrado y actividades de divulgación. ▶

Estación Biológica de Doñana

Este centro perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas y ubicado en el Parque Nacional de Doñana tiene como objetivo investigar al más alto nivel y de manera multidisciplinar, la forma en que, desde un punto de vista evolutivo, se genera la biodiversidad, cómo se mantiene y los factores que intervienen en su deterioro. 



Graduate School of Economics

Instituto interuniversitario ubicado en Barcelona y adscrito a la Universidad Pompeu Fabra y a la Universidad Autónoma de Barcelona, se dedica desde el año 2006 a promover la investigación de frontera y la educación de posgrado en economía a un nivel de excelencia. 

en la radiación láser y sus aplicaciones en los ámbitos de la salud, la energía y las tecnologías de la información.

Otro capítulo que está siendo reforzado es el de los recursos humanos, sea con becas postdoctorales, invitaciones a profesores visitantes de prestigio, o contratación directa. La Estación Biológica de Doñana dedicará la mitad de los fondos obtenidos a “la contratación masiva de jóvenes doctores para incrementar nuestra producción científica”, indica su director Juan Negro, que añade: “Ponemos toda la carne en este asador porque queremos muchas publicaciones de alto nivel en nuestra disciplina”. El Institut de Recerca Biomèdica contratará expertos con perfil muy definido: “Científicos, ingenieros y técnicos, con la misión de gestionar tecnologías punteras para que los investigadores las usen en sus proyectos”, explica Guinovart. “El mejor instrumental requiere un capital humano altamente cualificado, trátase de tener al día un microscopio avanzado o de asesorar en el empleo de animales de laboratorio”.

Uno de los aspectos más celebrados del programa es la flexibilidad que brinda para captar *cerebros*. “A diferencia del Plan Nacional de I+D, que limita las contrataciones a un máximo de dos años, con aquel podemos hacer contratos de tres y hasta cuatro años”, explica Carlos Muñoz, director del Instituto de Física Teórica (IFT), “lo cual nos permite hacer ofertas

y competir en el plano internacional por los mejores talentos”.

Algunos centros reforzarán su capacidad de gestión y rentabilización de los hallazgos. El Instituto de Ciencias Matemáticas ha creado la Oficina ICMAT Europa “para ayudar a nuestros expertos a presentar propuestas al European Research Council”, explica De León, “ya que adolecemos



Centro de Regulación Genómica

Creado en el año 2000 con la participación de la Generalitat de Catalunya, la Universidad Pompeu Fabra y el Ministerio de Economía y Competitividad, este instituto internacional del área de la biomedicina se centra en la comprensión de la complejidad de la vida desde el genoma y la célula hasta el organismo completo y su interacción con el entorno, para ofrecer una visión integradora de las enfermedades genéticas. 

Centro Nacional de Investigaciones Cardiovasculares

Institución de referencia internacional en el área cardiovascular, perteneciente al Instituto de Salud Carlos III. Situado en Madrid y dirigido por Valentín Fuster, tiene por objeto la investigación básica, la medicina traslacional y la formación. ▶



de técnicos y científicos con el perfil de gestores, un aspecto esencial para conseguir más fondos”. El CRG ha emprendido estudios de valorización para “determinar si un descubrimiento de laboratorio se puede llegar a convertir en aplicaciones comerciales”, apunta Valcárcel. Estos estudios se difunden mediante “cursos prácticos de transferencia de tecnología biomédica en los que se aprende a preparar una patente y conocer la propiedad intelectual”.

Una fracción menor del presupuesto procedente del programa se está destinando a equipamientos. Así, el Centro de Regulación Genómica comprará secuenciadores de ADN; y el Instituto de Física Teórica añadirá más ordenadores a sus dos *clusters* de computación al servicio de cálculos cosmológicos y física de partículas. El resto se dedica a la organización de *workshops*, cursos avanzados, seminarios, jornadas, asistencia a congresos y acciones



Manuel de León.

de divulgación como las que habitualmente lleva a cabo el Instituto de Ciencias Matemáticas, o el libro *Desarmando al cáncer* editado por el CNIO.

Mención aparte merece el galardón anual en metálico instituido por la Graduate School of Economics “en reconocimiento a nuestros investigadores que se han destacado con artículos en revistas internacionales de primer nivel”, explica su *Research Manager*, Bruno Guallar.

Objetivo: producir calidad y captar fondos

Las autoridades han sido claras al exponer la filosofía que alienta el Programa Severo Ochoa: primar la calidad por encima de la cantidad. En plena euforia por el éxito mundial



Centro Nacional de Investigaciones Oncológicas

Situado en Madrid, destaca entre las primeras instituciones mundiales dentro del campo de la investigación del cáncer. Desde 1988 este centro, perteneciente al Instituto de Salud Carlos III, ha ido creciendo de la mano de los dos directores que ha tenido hasta ahora, Mariano Barbacid y María Blasco, hasta convertirse en un referente internacional en su ámbito. ▶

de la *Roja* la entonces ministra de Ciencia e Innovación, Cristina Garmendia, declaró que los centros acreditados formarían “la selección nacional” de la ciencia local. Para Samuel Ting, miembro del jurado de la primera convocatoria, el campeonato que debe ganar este grupo de élite es obvio: “Es cuestión de tiempo que un investigador español obtenga de nuevo un Premio Nobel”.

Pero tan importante como los laureles se perfila la consecución de recursos financieros. Carmen Vela, secretaria de Estado de Investigación, Desarrollo e Innovación no ha ocultado su esperanza en que el marchamo de excelencia traiga fondos

europeos o privados a la I+D española, una necesidad acuciante en un horizonte de prolongada austeridad pública. ¿En qué medida la iniciativa está cumpliendo las expectativas creadas? Para Guinovart, “nació con grandes pretensiones y ambiciones



Bruno Guallar.

Instituto de Tecnología Química

Creado en 1990, este centro mixto del CSIC y la Universidad Politécnica de Valencia investiga catálisis, nuevos materiales (especialmente zeolitas) y fotoquímica. Su investigación fundamental, orientada y multidisciplinar busca tener la capacidad de actuar con amplia flexibilidad y rápida adaptación a nuevas líneas y retos.



Institut de Recerca Biomèdica Barcelona

Creado en 2005 por la Generalitat catalana, la Universitat de Barcelona y el Parc Científic de Barcelona, busca promover la investigación multidisciplinar en un área en donde convergen biología, química y medicina, fomentar la colaboración entre entidades locales e internacionales e impartir formación de alto nivel.

de mecenazgo y ha quedado descafeinada. Se suponía que los centros de excelencia, aparte del soporte financiero, tendrían más acceso a ayudas generales; pero se ha quedado en lo básico: en el millón de euros anual. Lo que nos den es bienvenido, pero no consolida ni basta para que podamos jugar en la *Champions*”.

Otros ven con buenos ojos la diferencia que introduce en la ciencia española. “Me parece fundamental —afirma Torres—. En Estados Unidos, la selección de los mejores se hace de modo natural en la competición por fondos; en nuestro país, desgraciadamente, rige un sistema de reparto en virtud del cual todos se llevan una parte. El Severo Ochoa se aparta de esa línea al fijar un criterio de distribución en base al mérito y la excelencia, y esto, en la medida en que incentiva a los centros a movilizar sus recursos para mejorar su posición, tiene un efecto dominó”. Torner, director del ICFO, opina de modo parecido:



Lluís Torner.

“A pesar de su reducido tamaño, que le resta impacto y eficacia, es una acción visionaria”.

No faltan quienes, compartiendo sus objetivos, cuestionan su mecánica. En un artículo publicado en el diario *El País*, tres directores de centros, Mi-quel Pericás, Luis Serrano y José María Valpuesta, afirman: “el número mágico de 40 centros apuntado como objetivo del programa aparece como arbitrario. ¿Es posible establecer por decreto que en España existen 40 Centros de Excelencia? ¿O 50? ¿O 30? Defienden además la sustitución de

las “convocatorias anuales por una única convocatoria, más amplia, que condujera a la acreditación de todos los centros que constituirían, durante el primer período de vigencia del programa, la red de Centros de Excelencia Severo Ochoa”.



Juan Negro.

Otros condicionan su impacto final a que sea reforzado y articulado con otras iniciativas pues, como advierte Negro, “es importante crear élites, pero sin olvidar el resto del sistema de I+D”. Lluís Torner cree que “ampliando presupuestariamente

y complementado con programas de fomento de otras clases de excelencia, tendría un efecto transformativo en la ciencia española”. Mas esta perspectiva se ha visto empañada por la reducción de los fondos del programa, que bajaron de 40 a 20 millones de euros. No obstante, la Estrategia Española de Ciencia y Tecnología y de Innovación 2013-2020 aprobada por el Gobierno ha renovado la apuesta por impulsar los centros de excelencia Severo Ochoa. Queda por ver cómo se concretará dicha apuesta. Entre tanto, una cosa es evidente: con todas sus limitaciones, este programa ayudará a sus beneficiarios a capear la crisis, algo nada desdeñable.



› Antonio Calvo Roy,
periodista científico

TECNOLOGÍA
NUCLEAR
ESPAÑOLA
3

Los 40 años de tecnología nuclear avanzada
de Equipos Nucleares S. A. (ENSA)

La precisión del diplodocus

Las inmensas vasijas son dinosaurios asomados a la bahía y al sol de Santander. Están ahí, como monstruos varados, al acecho. Esperan para meterse en las tripas de un barco y viajar a cualquier lugar del mundo, a cualquier central atómica. Allí, en el vientre del reactor, estarán 40 años, 60, aguantando lo que les echen y soportando las tremendas temperaturas y presiones para las que han sido concebidas. Son, como los dinosaurios, objetos aparentemente rudos e internamente delicados, en los que se mezcla el fuego del herrero que tornea el gran caldero con la delicadeza del orfebre que diseña el zarcillo. Se hacen a la orilla del Cantábrico, en Maliaño, y los fabrica la empresa española Equipos Nucleares S. A.

“Crear una gran industria nacional no es tarea solo de una generación”. María Teresa Domínguez, presidenta del Foro de la Industria Nuclear, se muestra orgullosa en las instalaciones de ENSA, en Santander. Junto a la dirección de la compañía, saca pecho al hablar de una fábrica que ha sido capaz de hacer “todas las vasijas de las centrales nucleares españolas y que es, hoy por hoy, uno de los tres o cuatro fabricantes de grandes componentes nucleares más importantes del mundo”. La industria nuclear no es un mercado fácil.

Es, junto a la aeronáutica, la que más controles tiene, en la que es más difícil entrar y, sobre todo, mantenerse. ENSA lleva en ella 40 años y quiere seguir, al menos, otros tantos.

“Hacemos vasijas de reactor, tapas para vasija, presionadores, generadores de vapor, bastidores y contenedores de combustible, cabezales de combustible para Enusa, contenedores para almacenaje y transporte...”. Francisco J. Adam, director comercial de la empresa, detalla los elementos que la fábrica vende dentro y fuera de España. “Llevamos



FOTOS: ENSA

Ensa es uno de los principales fabricantes de grandes componentes nucleares del mundo.

Cinco líneas de negocio

La compañía tiene cinco grandes líneas de trabajo. En primer lugar, ingeniería, donde cuenta con 35 años de experiencia. “Tenemos —dice Francisco J. Adam— diferentes tecnologías para distintos países, lo que exige mucha flexibilidad. En esta área trabajamos en diseño, licenciamiento de los equipos, diseño completo de bastidores de combustible y contenedores de combustible, transporte y almacenaje, entre otros campos. Y hacemos, para muchos reactores diferentes —PWR, BWR, AP600, AP1000, ABWR, PBMR, ESBWR, IRIS y EPR— tapas, vasijas, presionadores, tubería primaria y generadores”.

En segundo lugar, la fabricación. Se hace, desde Maliaño, para todos los mercados del mundo y “somos una referencia mundial”, dice Adam. “Eso nos exige ser flexibles, contar con una buena cadena de suministros en todo el mundo, ser capaces de atender múltiples tecnologías y sistemas y, sobre todo, entregar en fecha. Podemos decir que nuestro producto estrella son los generadores que, además, son lo más difícil de fabricar”.

La tercera línea es el centro de tecnología avanzada, un laboratorio de calidad que cualifica y valida procesos y materiales. Aquí se hacen ensayos metalográficos, mecánicos y químicos, además de la calibración de instrumentos. Se innova en los nuevos proyectos para crear automatismos en servicios internos y externos. “En robótica, tenemos una máquina única en el mundo para soldadoras de los generadores”.

Los servicios de inspección suponen la cuarta línea de negocio y comprenden ensayos no destructivos de todo tipo para todo tipo de centrales, licenciados en muchos países. Puede realizar pruebas hidráulicas, inspecciones robotizadas y control dimensional.

Y, por último, los servicios en planta, que también pueden ser de todo tipo, tanto las plantas como los servicios. Por ejemplo, el manejo de combustible durante las paradas de recarga, el mantenimiento de equipos, la gestión de residuos, montaje y desmontaje en paradas, desmantelamiento, descontaminación, diseño y suministro de sistemas robotizados.



Desde la fábrica, las gigantescas piezas se embarcan directamente hacia su destino.

también a cabo diseño, servicios auxiliares de todo tipo, manejo de combustible en las plantas...”. Y es que esta ingeniería, que surfea la crisis mirando al exterior, vende en prácticamente todos los mercados en los que hay centrales nucleares, desde China hasta Estados Unidos, pasando por Francia, Taiwán, Argentina, Japón, Eslovaquia, Bélgica, Suráfrica... “Hoy en día, la totalidad de los grandes equipos en fabricación o en cartera los hacemos para el exterior”. Eso incluye uno de los últimos pedidos que han salido de la fábrica, dos generadores de vapor para una central nuclear francesa, que es como ir a vender salmón a los noruegos y que lo comprenden.

Acreditación internacional

ENSA nació en 1973, creada por el Instituto Nacional de Industria (INI) para atender las necesidades de la entonces naciente industria nuclear española. Hoy sigue siendo una empresa con el 100% de su capital en manos de la pública Sepi, el heredero del INI. Su oficina central está en Madrid, pero el corazón lo tiene en Maliaño, en la bahía de Santander, donde en 15 hectáreas fabrican todo lo que necesitan para hacer sus productos. Esta fábrica santanderina se construyó entre 1975 y 1976 y desde esa fecha empezaron a salir de allí los primeros componentes para las nucleares españolas. Pronto, en 1978, obtuvieron el primer sello Asme (American Society of Mechanical Engineers, la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Mecánicos), que es la certificación nuclear más importante del mundo y una condición *sine qua non* si se quiere tener presencia en el mercado nuclear internacional. El primer gran componente que salió de Maliaño, en 1981, fue la vasija del reactor para la central de Valdecaballeros.

La empresa participa en otras dos compañías. Una de ellas es ENWESA Operaciones, S. A., donde ENSA es propietaria

ria del 85% y Westinghouse Technology Services (WTS) del restante 15%. En la otra empresa en la que participa es, precisamente, WTS con un 30%, siendo el restante 70% de Westinghouse Electric Company. En el año 2011 la cifra de negocio del grupo alcanzó los 133 millones de euros, con un 85% en el mercado exterior y, según su Memoria de 2011, “la cartera de pedidos a fin de año alcanza casi los 300 millones de euros, permitiendo el desarrollo normal de la actividad”.

“Desde su inicio —dice Eduardo González-Mesones, presidente de la compañía—, ENSA ha contado con la infraestructura, la tecnología y el equipo humano adecuado para satisfacer los más altos estándares en las áreas de ingeniería, diseño, aprovisionamiento, garantía de calidad, proyectos de fabricación, inspección y prestación de servicios. Y todo nació aquí, en Maliaño, donde fabricamos todos los componentes y lo que necesitamos para hacerlos. Ahora somos una empresa internacional que trabaja a plena capacidad en 2012 y 2013 y mira ya a los años 2015 y 2016”.

El éxito del boca a boca

En los años 80 el mercado nacional, tras la moratoria nuclear, dejó de ser el foco principal de atención de esta compañía, que obligada por la necesidad empezó a mirar hacia el exterior con más intensidad. Probablemente esa fue su salvación porque, como decía Ramón y Cajal, “solo luchar con los fuertes te hace fuerte”. Y por eso la calidad en la fabricación es una guía constante de ENSA, según Francisco J. Adam. “El nuclear es un mundo pequeño en el que funciona mucho el boca a boca, que es la mejor publicidad, y puede ser positiva o negativa. Por eso nuestro enfoque hacia la calidad es tan determinante. Se trata de materiales con largos plazos de entrega, porque desde el pedido, un generador de vapor tarda tres años en estar listo. Para ser, como



La investigación y el desarrollo son la clave de su competitividad internacional.



ENSA cuenta con medio millar de empleados, la mitad de ellos técnicos especializados.



Los controles de calidad de las piezas son exhaustivos.



Desde que se recibe el pedido de un generador de vapor hasta que se entrega pasan tres años.

somos, un fabricante de referencia, hay que hacer tus productos con mucha calidad y así conviertes a tu cliente en tu mejor representante”.

Los clientes, además, conviven en buena medida con los fabricantes y se alojan en la misma fábrica, porque durante el período de construcción las visitas y los controles son constantes. Se establecen así relaciones que con frecuencia van un poco más allá de las comerciales y que, en todo caso, exigen que el proceso sea completamente transparente para quien ha hecho el pedido, que sigue paso a paso su encargo y controla al detalle su evolución.

Lo que se fabrica con frecuencia es tan grande que los barcos son la mejor solución para el transporte. Esa es otra de las razones de haber instalado la planta en Santander, para aprovechar su salida al mar. “Contamos con un dique que tiene calado suficiente para los barcos de transporte”, dice Adam. “Por ejemplo, la última vasija que hemos fabricado para General Electric pesa 1.300 toneladas, lo que requiere de estas condiciones para llevarla a su destino”.

En estos meses los talleres de ENSA están ocupados en la fabricación de cuatro tapas de reemplazo de vasija de reactor, dos para Estados Unidos y dos para Suiza, dos generadores de vapor para una planta china, tres más para EE UU, otros ocho para Francia, y contenedores de combustible para España y Francia, además de bastidores de combustible para Francia, entre otros proyectos.

En el espacio de los 150.000 m² de Maliaño cuentan “con un equipo de trabajo potente y variado en unas instalaciones muy modernizadas. En la misma fábrica está todo lo que hace falta para hacer lo que se nos encargue, así que somos capaces de hacer el trabajo completo sin salir de aquí”. Desde los enormes talleres hasta los hornos descomunales, pasando por los laboratorios, los lugares



Mirando al exterior

Hasta 1986, solo el 10% de los trabajos de ENSA estaban destinados para mercados fuera de España, tres de 37 equipos. Entre 1988 y 1995, sin embargo, 26 equipos fabricados fueron al mercado exterior, cuando se produjo un pequeño repunte del mercado nacional gracias a la necesidad de sustituir algunos generadores de vapor. Entre 1997 y 2012, el 96% de los equipos se han hecho para fuera, 85 de los 88 fabricados. Hasta 2007, ENSA trabajó casi solo para Westinghouse, pero luego lo hizo también para General Electric, la francesa AREVA y la china Nuclear Energy Industry Corporation, entre otras.

También ha tenido la empresa una participación destacada en el proyecto surafricano PBMR (*Pebble Bed Modular Reactor*) y en el IRIS (*International Reactor Innovative and Secure*), dos iniciativas de gran calado internacional. Además, ha prestado servicios de ingeniería en centrales nucleares de China, Francia, Bulgaria y Finlandia. Desde hace algunos años ofrece también servicios de asistencia técnica para otras firmas y fabrica componentes a presión para la industria química y petroquímica.

Hasta la fecha, ENSA ha fabricado 125 generadores de vapor, la gran mayoría, casi una tercera parte, 41, para EE UU, 28 para Francia y 25 para España, además de tres para Alemania y tres para China, entre otros. Por otra parte, ha fabricado 12 vasijas de reactor y 18 tapas de vasija, 10 de ellas para España. En la actualidad tienen en cartera 16 generadores, cuatro tapas y 25 contenedores.

“También estamos en el mundo de la petroquímica y de las plataformas de petróleo en mar del Norte”, dice González-Mesones, “pero todavía no somos tan competitivos como en los materiales nucleares. Estamos presentes en el mundo no nuclear, pero no es una parte significativa”. Para ese mundo no nuclear la empresa ha fabricado, en los últimos años, piezas para el CERN, el Laboratorio Europeo de Física de Partículas que está entre Francia y Suiza, para la NASA y para el Instituto Max Planck en Alemania, EURATOM, UKAEA, EPRI y otros centros de investigación del mundo. Además, está intentando participar en el ITER, el International Thermonuclear Experimental Reactor, el gran proyecto para demostrar la viabilidad de la fusión nuclear que se ha convertido en una nueva constante de la física puesto que siempre está a 25 años de su finalización. ■

Tabla 1. Líneas de investigación de ENSA más destacadas

En desarrollo actual:

- Desarrollo de técnicas avanzadas de soldadura.
- Máquinas robotizadas II que aglutina distintos proyectos de robotización.
- Diseño del equipo para la soldadura de las penetraciones del fondo de vasijas en reactores BWR y PWR (SOPHIA-P y SOPHIA-B).
- Desarrollo de técnicas fotónicas para supervisión y control de procesos de soldadura propios de la industria de componentes nucleares I (SISTER-1).
- Soldadura por haz de electrones en vacío reducido local.
- Participación en el diseño del reactor europeo de IV generación (dentro de un proyecto conjunto del VII Programa Marco).
- ROV marino de apoyo a plataformas Offshore (Programa de energías renovables).
- Inicio del proyecto de mecanizado de piezas de aerogeneradores.
- Inicio del diseño aumento de capacidad para contenedor PWR (ENUN.-P).
- Contenedor de capacidad reducida para el transporte y almacenamiento de combustible irradiado para combustible BWR (Cask ENUN BWR-r).
- Sistema integrado de monitorización para contenedores de transporte y almacenamiento de combustible.

En proceso de evaluación:

- Diseño de un *cask* de transferencia para el ITER.
- Desarrollo de curva patrón.
- CHINEKA para desarrollo de procesos/equipamiento específico en la fabricación de generadores de vapor de la central nuclear de Sanmen.
- SEQWEL (sistema de seguimiento del comportamiento de juntas soldadas)

de ensayo, los búnkeres para los rayos X, las oficinas, los almacenes, atendido todo ello por 496 empleados, más o menos la mitad de ellos personal especializado en el taller, y con una edad media de 44 años.

“Todos nuestros empleados participan en el potente programa de calidad que llevamos a cabo. Para nosotros es un componente básico de la seguridad”, dice Adam. Eso resulta necesario en el mundo nuclear, porque si quieres estar en los mercados internacionales “debes cumplir las normas de EE. UU., las chinas y las europeas. Necesitas los certificados ASME para diseñar y fabricar, que se renuevan cada tres años. Además, tenemos auditorias de los clientes, de los reguladores, de los operadores...”. Concedidos por ASME, ENSA tiene sellos N, NPT, NA, N3 y NS, pero también cuenta con las certificaciones ISO 9001, 14001 y 16002 y OSHAS 18001. El programa implica seguir las metodologías de mejoras aprendidas con clientes y con los competidores, porque “quien es un competidor en un encargo concreto, puede ser socio en el siguiente y cliente en el de más allá”, dice Adam.

Innovación continua

“La innovación y mejora sistemática en los procesos de fabricación constituyen una potente herramienta de diferenciación frente a competidores del sector y es una de nuestras principales ventajas competitivas”, señala Eduardo González-Mesones. Por eso el esfuerzo de la compañía en este sentido es muy notable. Dentro de las actuaciones llevadas a cabo en 2011 destaca la finalización del proyecto “Desarrollo de técnicas fotónicas para supervisión y control de procesos de soldadura”, un proyecto en colaboración con la Universidad de Cantabria. Se trata de una iniciativa que tiene aplicación directa en los procesos de fabricación y que consolida y da continuidad a la relación de ENSA con la



Vista general de las instalaciones de Equipos Nucleares S. A. en Maliaño, Santander.



Hasta la fecha, ENSA ha fabricado 125 generadores de vapor, de los cuales 41 han sido para EE UU, 28 para Francia y 25 para España.

universidad cántabra, iniciada hace más de 15 años. En esta comunidad, además, ENSA está implicada en el Programa de Energías Renovables de Cantabria, con la participación en dos proyectos de I+D+i: “Desarrollo de un robot submarino” y “Desarrollo de técnicas de mecanizado en grandes piezas para aerogeneradores”.

Además, y entre otros programas de I+D+i, ENSA ha trabajado en 2011 en el diseño y desarrollo de tecnologías de fabricación para el reactor de IV generación PBMR, el diseño y fabricación de *racks* para reactores avanzados GEBWR, y el proyecto de tecnologías de diseño y fabricación de grandes componentes nu-

cleares (GIII+ y GIV). Además de las líneas de investigación actuales, en los próximos años se incorporarán otras que actualmente se encuentran en proceso de evaluación (tabla 1).

Y es que estar en el mercado nuclear internacional obliga a una labor de investigación y desarrollo constante, porque en este mundo, como en el de Alicia, el suelo va muy deprisa y hay que andar muy rápido para seguir en el mismo sitio y correr mucho para avanzar. Como señala María Teresa Domínguez, “un país que apuesta por la tecnología tiene posibilidad de desarrollo y de progreso, y por eso la tecnología nuclear sirve al país”. En

España el sector nuclear ocupa en la actualidad a unas 30.000 personas de manera directa o indirecta.

Así, desde la plácida bahía en la que son fabricados, los diplodocus tendidos al sol esperan su hora. Tras la dura carcasa que guarda la tecnología, se esconde también el gusto por el trabajo bien hecho y el orgullo de hacer algo duradero. Y es que la mejor publicidad de la fábrica es la satisfacción de los clientes, que hará posible un nuevo encargo que permita que en el corazón de una central nuclear de Corea del Sur o de Finlandia haya componentes nacidos en España, junto al Cantábrico. ©

› Antonio Calvo Roy,
periodista científico



REE

El sistema eléctrico nacional

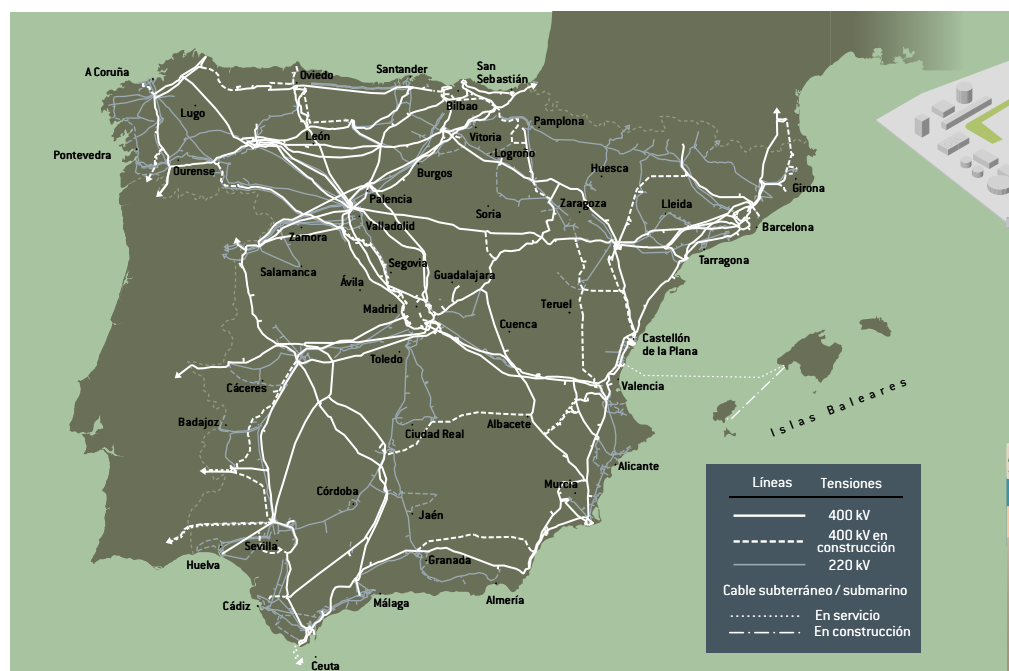
Para que la electricidad esté siempre disponible para nuestras necesidades cotidianas y en el momento en que se demandan es necesario gestionar el sistema de generación, transporte y distribución de forma exacta e instantánea. Ese es el trabajo de Red Eléctrica de España y su Centro de Control.

La electricidad es siempre igual, sea cual sea la fuente que la produce. Y, una vez que está en la red, no es posible distinguir un kilovatio nuclear de uno eólico. Todos son iguales y todos circulan por la red a la misma velocidad, casi 300.000 kilómetros por segundo, para atender esa demanda. Porque a diferencia de cualquier otra sustancia, la electricidad no se puede almacenar en grandes cantidades. Por eso el sistema eléctrico es complejo en su funcionamiento y requiere de una coordinación total.

Red Eléctrica cuenta con el conocimiento preciso tanto del estado de la red de transporte, de la que es propietaria,

como del de las centrales —que pertenecen a las empresas eléctricas— de cuáles pueden producir y cuánto en cada hora del día siguiente. Y es capaz también de estimar con gran precisión cuál será la demanda nacional minuto a minuto para las próximas 24 horas. Esa información es pública y puede seguirse al segundo en su página web, www.ree.es.

Con estos datos se elabora un programa diario y se dan las instrucciones precisas a las centrales de cuánto tienen que producir en cada momento. Pero, por definición, la demanda eléctrica es caprichosa, porque es el resultado de las decisiones individuales de cada uno de los consumidores, que encienden la luz del salón cuando les parece bien. Esas variaciones, pequeñas en comparación con el consumo global, e instantáneas, se compensan por una parte con el tamaño del sistema y por la otra gracias a la conexión con Europa a través de Francia, porque otra de las particularidades





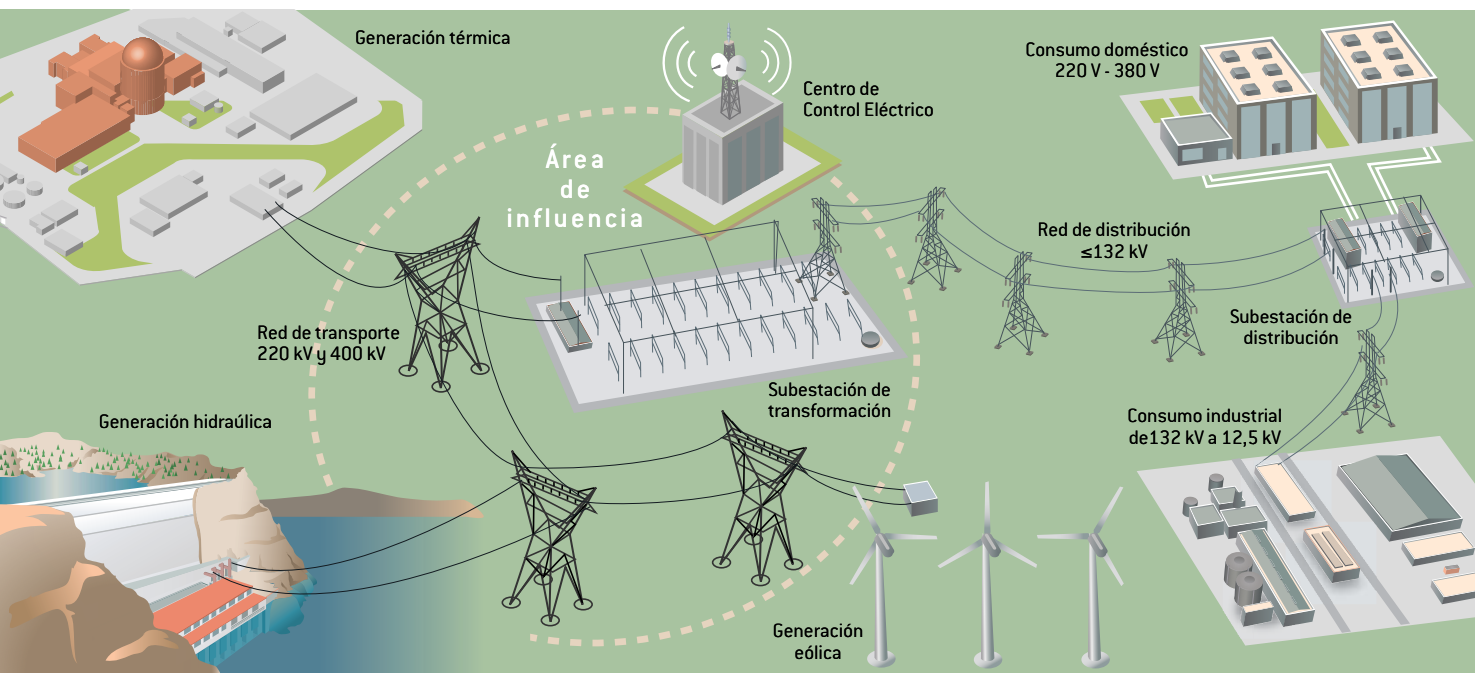
Sala de control del sistema eléctrico español donde se gestiona el permanente equilibrio entre generación y consumo.

del sistema es que ha de estar siempre en equilibrio.

Si, por cualquier razón, se produce una diferencia grande entre producción y consumo, bien porque una central se pare inesperadamente o bien porque un barrio o una ciudad corte su consumo por cualquier causa, es necesario estabilizar esa diferencia en milésimas de segundo, porque si no se pueden producir sobrecargas y diferencias que provoquen un efecto dominó que acabe dejando a oscuras a todo el país. Y esas diferencias se compensan gracias a las interconexiones internacionales que nos mantienen unidos al sistema eléctrico europeo, del que España es más o menos una décima parte.

La red física de transporte, de 220 y 400 kV, está compuesta por unos 40.000 kilómetros de cables, más o menos la mitad de cada tensión, que son las autopistas por las que viaja la electricidad. Desde la central, la electricidad producida (a una tensión que según el tipo de central es de entre 12 y 18 kV) llega a una subestación próxima donde se eleva la tensión a 400 kV para que el transporte sea más eficiente. En la zona de consumo, otro transformador baja la tensión a 110 o 60 kV para que la compañía distribuidora local la lleve a los domicilios bajando la tensión en varios pasos hasta 380 V en el portal del edificio y 220 V al hogar, tal y como la consumimos.

El modelo que regula este sistema se llama TSO (siglas inglesas de transportista y operador del sistema), y es el que la Unión Europea prefiere porque es el que mejor permite la competencia en el sector y el más eficiente de todos. España fue el primer país en adoptar este modelo y sigue siendo pionera por ejemplo en la integración de renovables, mediante un centro de control específico, una tarea que requiere más experiencia porque a una demanda caprichosa se une también una oferta que depende de las condiciones del tiempo, del viento y del sol, los únicos combustibles, junto al agua, de que disponemos en nuestro país para fabricar electricidad. 





› Redacción de Alfa

Fernando Marti Scharfhausen, presidente del Consejo de Seguridad Nuclear

“Para el CSN es fundamental el rigor técnico y la transferencia del conocimiento a las nuevas generaciones”

Fernando Marti Scharfhausen (Cartagena, Murcia, 1955) es licenciado en Ingeniería de Minas por la Universidad Politécnica de Madrid y posee un Máster MBA en Economía y Dirección de Empresas por el IESE de la Universidad de Navarra. En 1990, se incorporó al Grupo Inisel, y en 1994 a la empresa Guiado y Control S. A. (Gyconsa), dedicada a la investigación en ingeniería. Más tarde pasó a formar parte de la compañía Repsol donde desempeñó, entre otros cargos, el de director de la Junta de la Corporación Occidental y el de director de Planificación de Repsol Exploración. Durante once años, desde 2000 hasta 2011, fue miembro de la Comisión Nacional de la Energía (CNE), organismo en el que llegó a ocupar el cargo de vicepresidente. En diciembre de 2011 fue designado secretario de Estado de Energía y en diciembre de 2012 pasó a presidir el Consejo de Seguridad Nuclear.

PREGUNTA: *Se enfrenta a un nuevo reto profesional y la primera pregunta es obvia: ¿qué visión tiene ahora del Consejo de Seguridad Nuclear, desde que ha asumido la Presidencia?*

RESPUESTA: Ha transcurrido ya un tiempo desde que fui nombrado presidente del Consejo de Seguridad Nuclear. En este período la percepción de este organismo ha ido evolucionando día a

día, como es lógico, teniendo en cuenta, además, que desde el primer momento mi inquietud ha sido conocer el funcionamiento de esta institución y a las personas que la integran. Ellas son las que conforman el corazón y la fuerza que se necesita para que entre todos se cumpla la misión que la sociedad nos tiene encomendada, velar por la seguridad nuclear y la protección radiológica y que nuestras instalaciones funcionen de forma segura.

P: *¿Cómo ha encontrado el organismo y a los profesionales que trabajan en él?*

R: Presidir el Consejo de Seguridad Nuclear supone un gran reto, una posición privilegiada. El primer paso para afrontar una situación, de forma general, es conocerla, acercarte o alejarte para tener la perspectiva necesaria, y en este caso, no solo porque el CSN es el único organismo que dispone de las competencias necesarias para regular la seguridad nuclear y la protección radiológica en nuestro país, sino porque las circunstancias actuales hacen replantearse y reflexionar con el horizonte del tiempo presente pero siempre sin dejar de pensar en el futuro.

El Consejo dispone de una plantilla de muy alto nivel técnico y profesional que lleva con rigor y profesionalidad su trabajo. Este debe continuar con el buen hacer, como lo ha venido haciendo desde que fue creado en 1980.



P: En un organismo colegiado que suele adoptar las decisiones por unanimidad, ¿cómo describiría las relaciones con el resto de miembros del Pleno?

R: En la Comisión Nacional de la Energía he desarrollado parte de mi carrera profesional y allí he adquirido durante doce años la experiencia que considero fundamental para entender que lo importante en un órgano colegiado es saber aportar, saber conseguir lo mejor de todos y saber aproximarse a la mejor o a la buena solución; y la mejor solución es aquella en la que todos están de acuerdo, aunque en determinadas ocasiones es difícil y en algunas otras imposible.

R: ¿Cuáles han sido sus primeras preocupaciones y actuaciones?

R: Sin lugar a dudas el personal del CSN. Las personas son el gran activo de la institución, la transmisión del saber acumulado durante años, la gestión del conocimiento y adaptar el organismo a la realidad, al entorno y al modo de entender del nuevo Pleno, en el que cada conse-

jero aporta y suma en la labor de dirección.

Más allá de situaciones concretas, la política del CSN debe estar diseñada para hacer frente a una continua demanda de la ciudadanía de un grado de protección frente a los riesgos tecnológicos de las radiaciones ionizantes, en el que el CSN debe establecer las pautas de la regulación de las actividades que conllevan este riesgo, informando a la sociedad con rigor y transparencia.

P: ¿Puede adelantarnos cuáles serán los ejes de su mandato?

R: Creo sinceramente que el eje clave será la componente humana del CSN, que es su activo principal. La plantilla del CSN envejece, esto es un dato constatado y que figura en los informes anuales que mandamos al Congreso.

En el futuro convendría adaptar su estructura orgánica y llevar a cabo la modificación, si fuera necesario, de los puestos de trabajo. Por otro lado, también debemos afrontar el proyecto de gestión del combustible gastado y el desmantelamiento de las centrales que cesan en su explotación. Otro punto importante considero que es reforzar la proyección internacional que ya tiene este organismo.

Asimismo vamos a tener, como siempre, una actitud abierta con las comunidades autónomas, los ayuntamientos y las zonas implicadas, para estar muy pendientes de todas sus inquietudes y garantizar la seguridad y la transparencia con los órganos de estas administraciones locales.

P: El CSN ha alcanzado un reconocido nivel de transparencia y participación pública. ¿Cómo espera reforzarlo?

R: Con trabajo. Es la mejor vía para mantener un camino que se ha recorrido durante varios años. El reto, como siempre, es la mejora, el refuerzo de la seguridad, la construcción de confianza y credibilidad en una institución cuya única misión es velar por la seguridad nuclear. Estas son las coordenadas del rumbo en el que debemos seguir, contando con la colaboración del resto de los miembros del Pleno y del excelente personal del Consejo de Seguridad Nuclear. Estoy convencido de que entre todos, y con la experiencia acumulada durante este tiempo, lo vamos a conseguir.

Creo que, debido a la importancia que ha adquirido en algo tan importante como es la comunicación con el público, con la sociedad, no debe juzgarse, a la ligera, una posible modificación. La transparencia y credibilidad son piezas imprescindibles, y en el CSN vamos a tener en cuenta esta consideración a la hora de desarrollar nuestra política de comunicación, tratando siempre de encontrar el justo y adecuado equilibrio entre nuestro trabajo como organismo regulador técnico y la obligación de satisfacer la demanda de información de la

“El CSN debe establecer las pautas de la regulación de las actividades que conllevan riesgo, informando a la sociedad con rigor y transparencia”





sociedad, sobre la base del modelo institucional del Consejo, como ente independiente, colegiado, con competencia exclusiva en su materia y con suficiencia económica y capacidad técnica propia, aspectos presentes en cada una de las actuaciones.

Además, considero que la adaptación y el desarrollo de la actividad del CSN a las nuevas herramientas de contenidos de información para la toma de decisiones, por ejemplo en la gestión de emergencias y la información pública, es un aspecto interesante que merece la pena explorar.

P: *¿Cómo afronta el CSN el trabajo relacionado con el cese de explotación de la central nuclear de Santa María de Garoña?*

R: Continuamos con el plan de trabajo establecido, y recientemente hemos aprobado un informe en el que se recoge que la central debe cumplir todas las exigencias que le fueron impuestas cuando se renovó su licencia de funcionamiento.

Más allá de decisiones empresariales que han establecido la parada de la planta, se deben cumplir los requisitos de seguridad dictaminados, y quien determina el cese de actividad de una instalación como la que estamos hablando es el Ministerio de Industria, Energía y Turismo.

P: *¿Cómo evoluciona el proyecto de construcción del Almacén Temporal Centralizado? ¿En qué punto está?*

R: Es un proyecto necesario e importante. Se ha trabajado durante muchos años para conseguirlo. Como decía antes, es uno de los principales proyectos que espero afrontar durante mi mandato. En estos momentos, la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos debe presentarnos el proyecto definitivo, es decir, ya adaptado a la localización en la que se va a construir y, a partir de ahí, el CSN empezará su evaluación.

P: *¿Cuál es, en su opinión, la principal herencia, o lección aprendida, del accidente de Fukushima para la seguridad nuclear de las plantas españolas?*

R: La catástrofe de Fukushima, la crisis vivida en la central nuclear tras el maremoto, la profunda revisión de las cuestiones relativas a la seguridad, lideradas en Europa por ENSREG, así como las

reflexiones racionales sobre el futuro en general de este tipo de fuente de energía, no son factores externos al CSN, pues repercuten en el trabajo del día a día, y fruto de ello son los planes de acción nacionales que cada país ha diseñado.

Además, Fukushima nos ha enseñado la importancia de los mecanismos internacionales de comunicación y cooperación que se pusieron en marcha durante la crisis y, posteriormente, en el diseño y aplicación de las pruebas de resistencia a las centrales nucleares.

En este sentido, quiero destacar la gran labor y el esfuerzo que ha hecho el cuerpo técnico de este organismo para llevar a cabo el trabajo exigente que se puso en marcha tras el accidente. Esta tarea, sin embargo, no ha terminado, pues dos años después mantenemos ese alto nivel de trabajo con la aplicación del Plan de Acción y buscamos la excelencia en la seguridad de las instalaciones, que es una de las misiones que tiene encomendadas el CSN.

P: *A nivel internacional, ¿cuáles cree que son los principales retos del CSN y con qué países o zonas desearía fomentar la cooperación?*

R: Esencialmente, considero que el reto principal es el refuerzo de la proyección internacional del CSN. La colaboración entre los organismos reguladores de diversos países es fundamental para el desarrollo de una regulación fuerte; pienso que es uno

de los pilares importantes, pues en el sector nuclear de poco sirven las reglas nacionales si no tienen una coherencia con la normativa internacional.

Las relaciones internacionales juegan un papel fundamental en el cumplimiento de las funciones que el ordenamiento jurídico nacional otorga al Consejo de Seguridad Nuclear. Todo esto se traduce en la participación del CSN en los órganos de gobierno y comités asesores y en los grupos técnicos de trabajo, como son el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), la Agencia de Energía Nuclear (NEA) de la OCDE, la Asociación Internacional de Organismos Reguladores (INRA), la Asociación de Organismos Reguladores de los Países de Europa Occidental (WENRA) y el Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y Nucleares (FORO).

P: *Una de las principales exigencias a un organismo regulador es la independencia. ¿Teme usted que puedan llegarle presiones de algún tipo?*

R: El pasado 2 de abril los nuevos miembros del CSN tomamos posesión de nuestros cargos y, por primera vez en la historia de este organismo, lo hicimos en el Congreso de los Diputados. Un acto ceremonioso, lleno de significado institucional, que fortalece la independencia que nos caracteriza. El CSN, como decía, debe velar por el cumplimiento de la función y la misión que le fueron asignadas hace más de 30 años, que son la seguridad nuclear y la protección radiológica, y ese cumplimiento debe estar ajeno a otro tipo de consideraciones sociales, económicas y políticas, sea cual sea el color del partido que gobierne.

El mantenimiento del rigor técnico es fundamental para una organización como el CSN, así como garantizar la transferencia del conocimiento a las nuevas generaciones de profesionales. No es un camino fácil, pero como decía Séneca: “*Per aspera ad astra!*” Es decir, para conseguir lo mejor, hay que esforzarse. Es preciso luchar para vencer los obstáculos, no caer en la autocomplacencia del regulador, para poder alcanzar las mayores cotas de seguridad y, de nuevo, el funcionamiento del organismo debe ser eficaz y eficiente al mismo tiempo. Para lograrlo, debe existir esa transferencia del conocimiento llevando a cabo la reposición de activos, tanto de conocimiento como de personal, que se vayan intercaldando en el tiempo.



“En el cumplimiento de su misión, el CSN debe estar ajeno a otras consideraciones sociales, económicas y políticas, sea cual sea el color del partido que gobierne”

ARTÍCULO

La institución lleva el control dosimétrico de alrededor de 45.000 trabajadores expuestos en España

El Centro Nacional de Dosimetría



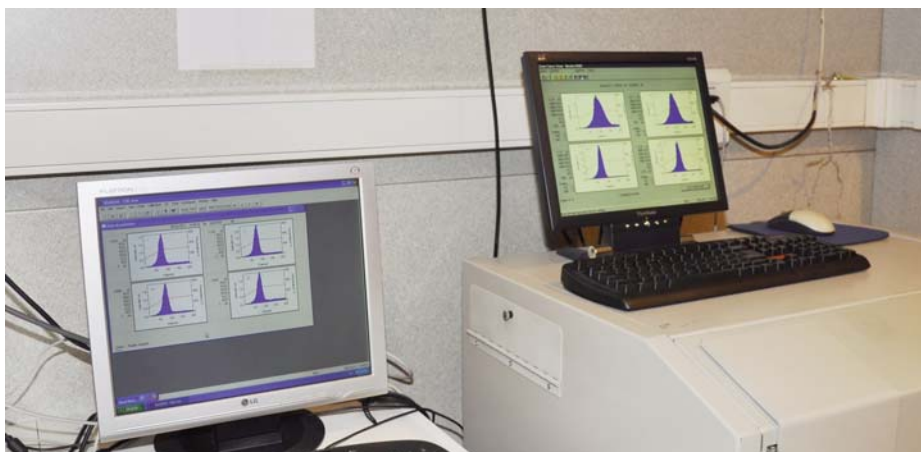
► Emilio Casal Zamorano,
jefe de servicio del CND

El número de trabajadores expuestos que desarrollan su actividad en el ámbito de las instalaciones radiactivas, médicas, de investigación, industriales y comercializadoras que son controlados dosimétricamente en España se cifra en cerca de 90.000 personas, según datos del Consejo de Seguridad Nuclear correspondientes a 2011. Todos ellos disponen de dosímetros personales o de área para poder vigilar las dosis que reciben y evitar los riesgos inherentes a una exposición excesiva. De la captura y análisis de los datos recogidos por prácticamente la mitad de dichos dosímetros se encarga el Centro Nacional de Dosimetría, situado en el antiguo Hospital La Fe de Valencia. Creado hace 35 años, el centro utiliza las tecnologías más avanzadas para analizar los 500.000 dosímetros que le llegan cada año.

El Centro Nacional de Dosimetría (CND) fue creado en 1977 para llevar a cabo el control dosimétrico de los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes de las instituciones sanitarias dependientes, en aquella época del Insalud. Con anterioridad a dicha fecha, en 1974, varios de los más importantes hospitales de España habían sido dotados con equipos de dosimetría por termoluminiscencia (DTL) para la puesta en marcha de 16 centros de lectura dosimétrica para el control de los trabajadores expuestos en sus respectivas áreas de salud. Por problemas de disponibilidad de personal en unos casos y económicos en otros, muchos de dichos servi-

cios no llegaron a ponerse en funcionamiento y su equipamiento y el control de los correspondientes trabajadores fue transferido al CND al crearse este en 1977 sobre la base del Servicio de Dosimetría del Hospital La Fe. En años posteriores, los restantes servicios de dosimetría hospitalarios se fueron cerrando, siendo transferidos sus servicios dosimétricos al CND.

Tras la creación de las comunidades autónomas y el traspaso de las competencias en materia de asistencia sanitaria a las mismas, el CND ha quedado adscrito al Instituto Nacional de Gestión Sanitaria (Ingresa) del Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. La principal



Curvas de emisión de luz obtenidas en la lectura de dosímetros.

CND



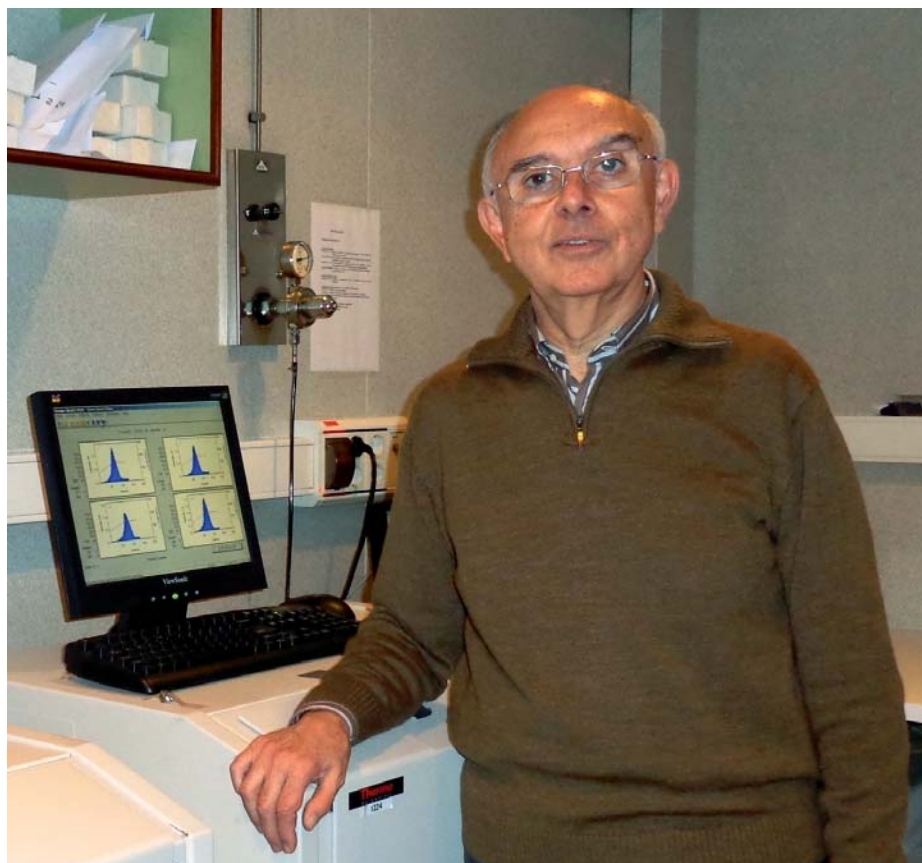
Vista general de la empaquetadora de dosímetros.

misión encomendada con cargo a su presupuesto es el control dosimétrico de los trabajadores del Sistema Nacional de Salud expuestos a radiaciones ionizantes. El CND presta además servicio dosimétrico a diversos centros universitarios de investigación, y colabora con el Consejo de Seguridad Nuclear dentro de los planes de emergencia nuclear de las provincias donde existen centrales nucleares, efectuando la lectura semestral de los dosímetros distribuidos en las diferentes unidades de protección civil. El Servicio de Dosimetría Personal Externa fue autorizado por el Consejo de Seguridad Nuclear en 1983.

Entre otras actividades, el CND actúa también como Unidad de Protección Radiológica para las instalaciones de rayos X con fines de diagnóstico médico de las ciudades de Ceuta y Melilla, dependientes de Ingesa, y de las del Servicio de Salud de Castilla-La Mancha (Sescam), que no cuentan con un servicio de protección radiológica propio. Con anterioridad se realizó dicha función también para otras comunidades autónomas, labor que se ha ido interrumpiendo conforme se creaban y asumían sus competencias los respectivos servicios

de protección radiológica. En la actualidad se controlan más de 350 equipos de rayos X en todo el ámbito de actuación. La Unidad de Protección Radiológica fue autorizada por el CSN en 1993.

Finalmente el CND cuenta, además, con un laboratorio de metrología de radiaciones ionizantes, el único de tal naturaleza dependiente del Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad.



Emilio Casal en las instalaciones del Centro Nacional de Dosimetría.



ELVIRA ESPINOSA



ELVIRA ESPINOSA

Detalles de la empaquetadora de dosímetros.

Tiene implantada la norma ISO/IEC 17025 y está acreditado por ENAC desde 1996. Este laboratorio permite efectuar la calibración de cámaras de ionización y detectores de lectura directa, y la irradiación de dosímetros en niveles de dosis de protección radiológica y radio-diagnóstico para calidades de rayos X convencionales y de mamografía.

El CND está ubicado en las dependencias del antiguo Hospital La Fe, donde hasta el año 2000 estuvo ocupando los locales del Servicio de Dosimetría originario. En dicha fecha, la necesidad de situar las instalaciones de resonancia magnética de la empresa Eresa, junto al servicio de radiodiagnóstico del propio hospital, forzó el traslado de parte de las instalaciones del CND a unos módulos prefabricados situados en el aparcamiento posterior del hospital. Debido a los especiales requerimientos del laboratorio de metrología, sus instalaciones no se pudieron trasladar y quedaron en su emplazamiento original, de difícil acceso desde el exterior. Tras el traslado del Hospital La Fe a su nuevo emplazamiento, la planta donde está ubicado el laboratorio ha sido prácticamente abandonada. Por ello, dentro del Plan Estratégico 2011-2013

del CND se incluía la instalación en una nueva sede, que aún no se ha producido

Servicio de Dosimetría Personal

En la actualidad, el CND controla a más de 45.000 trabajadores en alrededor de 3.000 instituciones en toda España, procesando unos 500.000 dosímetros por año mediante dosimetría de fotones. Los dosímetros utilizados son termoluminiscentes, de la marca Vinten y constan de una tarjeta con cuatro detectores de LiF:Mg,Ti (TLD100). El diseño de la tarjeta permite que se pueda hornear hasta 300°C por periodos prolongados de tiempo. Dicha característica asegura una óptima regeneración del material termoluminiscente.

El dosímetro incorpora dos láminas de plástico con cuatro áreas de filtros, encarados de forma simétrica por ambos lados de la tarjeta, que permite la discriminación de la energía de la radiación incidente. El conjunto de la tarjeta y las dos láminas con los filtros se envuelve en una bolsa de plástico aluminizado sobre



Dosímetro listo para analizar.

ELVIRA ESPINOSA

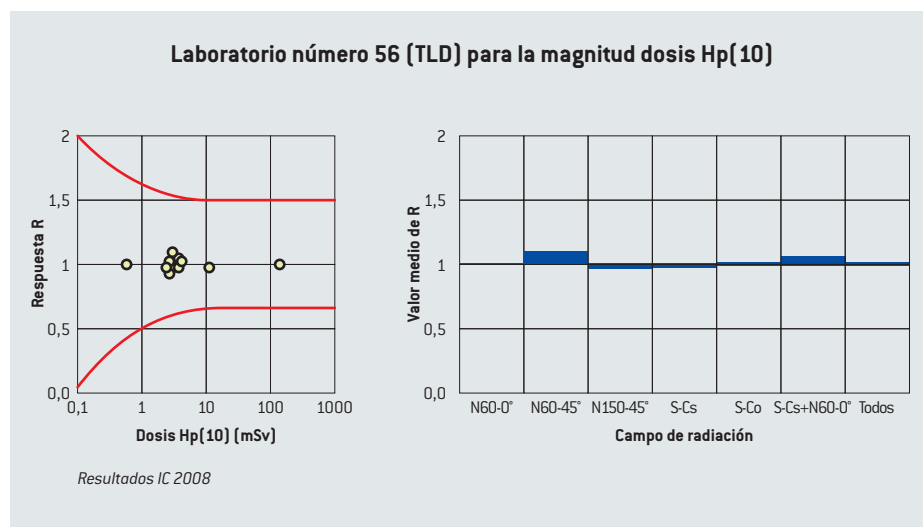
la que se imprime el nombre del usuario al que va destinado.

Todo este proceso de empaquetado de los dosí-

metros se realiza de forma automática, quedando registrado el código del dosímetro asignado a cada usuario. Diferentes controles incorporados en el proceso permiten verificar la corrección de dicha asignación, punto crucial en el sistema ya que la posterior asignación de dosis tras la lectura del dosímetro se realiza a través del código identificativo del dosímetro.

Para la lectura de los dosímetros se dispone de cuatro lectores automáticos Harshaw 8800, con una capacidad de carga de 1.400 dosímetros por lector. Los equipos suelen estar funcionando las 24 horas del día, salvo fines de semana. El equipamiento se completa con tres hornos que presentan circulación asistida de aire y tasas de calentamiento controladas que permiten una adecuada regeneración de los dosímetros, previamente a su reutilización por los usuarios.

Figura 1. Resultados obtenidos por el CND en la intercomparación EURADOS 2008 (EURADOS Report 2012-01)



El cálculo de las dosis se realiza mediante un algoritmo diseñado a partir de las lecturas de los 4 detectores, tras irradiaciones a 12 calidades desde RQR-M1 (16,7 keV) a Cs-137 (662 keV). La energía de la radiación incidente se estima a partir de la respuesta relativa de los detectores bajo diferentes filtros y las dosis equivalentes personales $H_p(10)$ y $H_p(0.07)$ por promedio ponderado de los valores obtenidos para los cuatro detectores tras la corrección por los factores correspondientes a la energía estimada.

La bondad del algoritmo se ha puesto a prueba en diferentes comparaciones efectuadas a nivel nacional y europeo. A título de ejemplo, en la figura 1 se muestran los resultados obtenidos en la intercomparación organizada por EURADOS en 2008 para dosímetros de cuerpo entero en campos de fotones. Para las calidades tan diversas a las que se irradiaron los 20 dosímetros con los que se participó, el promedio global de los valores de las dosis estimados ha diferido tan solo en un 1% de las dosis irradiadas por el laboratorio. En 2012 se ha participado también en la nueva intercomparación organizada por EURADOS y los resulta-

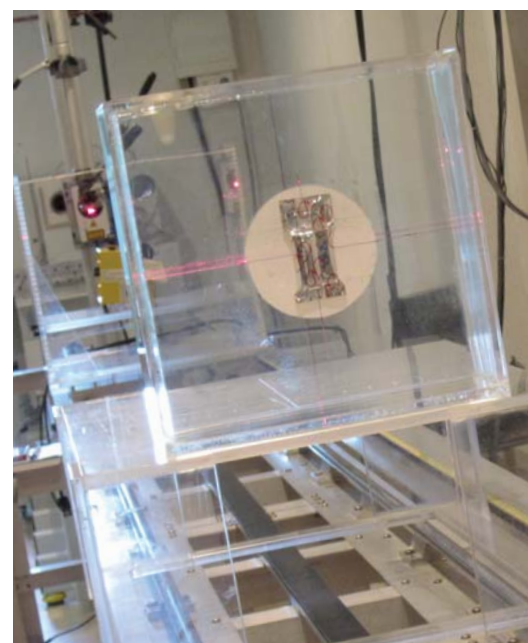
dos (todavía no publicados) han sido muy similares. El valor promedio global de la respuesta de los dosímetros para $H_p(10)$ ha sido de 1,01.

De cara al futuro, el Servicio de Dosimetría Personal debería abordar la incorporación de nuevos tipos de dosimetría, de anillo y de cristalino, que por una parte las sociedades científicas van recomendando y por otra los usuarios empiezan a demandar.

Laboratorio de Metrología de Radiaciones

Uno de los motivos principales de la precisión y exactitud de las medidas dosimétricas es la disponibilidad del laboratorio de metrología, que permite la verificación sistemática y periódica del sistema dosimétrico.

El laboratorio dispone de dos equipos de rayos X, uno con ánodo de wolframio que puede operar hasta una tensión de 320 kVp y el otro con ánodo de molibdeno para la obtención de calidades de radiación usadas en mamografía. Los electrómetros y las cámaras de ionización de referencia se calibran periódicamente en el laboratorio primario de



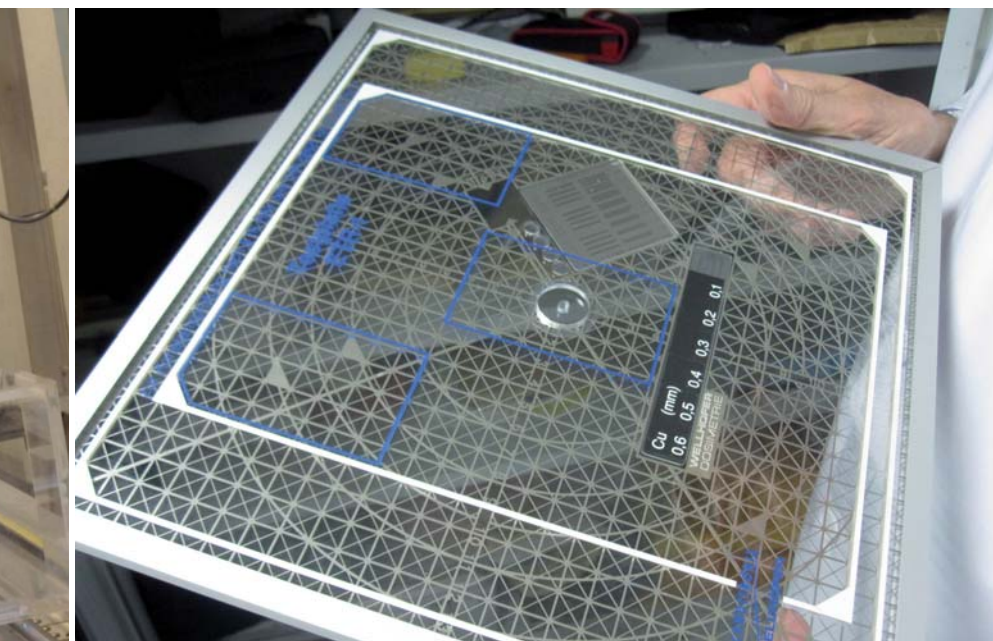
Laboratorio de metrología.

radiaciones ionizantes del Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) alemán. Se dispone dentro de las calidades de radiación ISO 4037 de las series de espectro estrecho (N-30 a N-300) y espectro ancho (W-60 a W-300), así como la serie de diagnóstico (D-40 a D-150) y de las calidades IEC 61267 de mamografía RQR-M y RQA-M.

El alcance de la acreditación incluye tanto las magnitudes físicas, kerma, exposición y dosis absorbida, como las de protección radiológica, dosis equivalentes personal, ambiental y direccional.

El laboratorio realiza ejercicios de intercomparación periódicos con otros centros tanto nacionales como europeos, como pueden ser el PTW-Freiburg alemán, el Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) francés, el Centro di Taratura del Politécnico de Milano y el Institut de Tècniques Energètiques (INTE) de la Universidad Politécnica de Cataluña.

Uno de los retos futuros que debe plantearse el laboratorio es la ampliación de sus instalaciones para incrementar su capacidad incorporando otras fuentes de radiación como Cs-137 y Co-60 y poder



ELVIRA ESPINOSA

Instrumental empleado en la Unidad de Protección Radiológica.

así cubrir las necesidades de calibración en el ámbito sanitario español.

Unidad de Protección Radiológica

Antes de la creación de los servicios de protección radiológica hospitalarios (SPR), el CND visitaba de forma esporádica las diferentes instituciones sanitarias controladas dosimétricamente en toda España, en aquellos casos en que los valores anómalos de sus lecturas dosimétricas indicaban la posible existencia de algún problema de protección radiológica en la instalación, para analizarlo y proponer las oportunas recomendaciones correctoras. Tras la creación de los referidos servicios, el ámbito de actuación se redujo a las instituciones de las comunidades autónomas de Castilla-La Mancha, Extremadura y La Rioja, además de Ceuta y Melilla, y las visitas empezaron a realizarse de forma sistemática a todas las instalaciones radiológicas con objeto de implantar las normas de protección radiológica contempladas en el Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes. Posteriormente, al ponerse en marcha los SPR de los hospitales de Badajoz y Logroño, el CND

dejó de actuar como tal en ambas comunidades autónomas.

Las actuaciones de la Unidad de Protección Radiológica (UPR) suponen la visita rutinaria a las diferentes instalaciones controladas, efectuando los controles de calidad de los equipos de rayos X, medidas de niveles de dosis ambientales en los puestos de trabajo y áreas colindantes, medidas de dosis a pacientes utilizando dosímetros termoluminiscentes y analizando las condiciones en que se realizan las exploraciones, con objeto todo ello de optimizar la protección radiológica tanto de los trabajadores como de los pacientes. A título de ejemplo, a lo largo de 2012 se han realizado 230 días-radiofísico de desplazamiento para atender todos los equipos controlados. Como complemento a dicha labor de campo se preparan, además de los informes de las visitas, las documentaciones de declaración de nuevas instalaciones, colaborando en la optimización de su diseño, los borradores de los programas de protección radiológica a implantar en las diferentes unidades de radiodiagnóstico y los certificados de conformidad requeridos en la legislación.

De cara al futuro, la UPR debería formalizar su relación con las instituciones atendidas en Castilla-La Mancha, Ceuta y Melilla. Además, se debería abrir la posibilidad de aprovechar la experiencia de sus técnicos en el campo de la protección radiológica, ampliando y diversificando su ámbito de actuación, para lo cual deberán establecerse los mecanismos legales y administrativos adecuados para ese fin.

Unidad de Informática

El CND dispone de una Unidad de Informática que ha desarrollado todo el *software* de gestión de datos y de control del proceso de cálculo de dosis, recepción, lectura, empaquetado y envío de los dosímetros. Además, se ha diseñado una página de internet, www.cnd.es, a través de la cual los responsables de las instituciones controladas dosimétricamente pueden tener acceso a los historiales de sus trabajadores expuestos, así como al resto de información y documentación necesaria para la gestión dosimétrica. De forma similar, desde el año 2012, la documentación de las actuaciones de la Unidad de Protección Radiológica se está empezando a poner a disposición de los responsables de las instalaciones radiológicas mediante este acceso electrónico.

Conclusiones

En este año se cumple el 35º aniversario de su creación y el CND llega a él con una sólida reputación de eficacia y fiabilidad en sus actuaciones, pero se encuentra ante una serie de retos como son la consecución de una nueva sede, con la consiguiente ampliación del Laboratorio de Metrología, la consolidación de la Unidad de Protección Radiológica y la incorporación de nuevos servicios en el campo de la dosimetría y de la información y gestión a través de internet, que deberán ser abordados en un futuro inmediato. ©



› **Marta Barrientos Montero**
y **Benito Gil Montes**,
técnica y jefe del Área
de Organización,
Factores Humanos
y Formación del CSN

Tratamiento de la cultura de seguridad en el Sistema Integrado de Supervisión de Centrales (SISC)

La cultura (y, en particular, la cultura organizativa) es un concepto colectivo referido a los valores, creencias y convicciones compartidos por un grupo, organización o sociedad, que nos habla, en definitiva, de aquello que mueve los comportamientos de ese colectivo. La cultura de seguridad (CS) no es sino la cultura organizativa de un grupo en relación a la seguridad, y da cuenta por tanto de las convicciones básicas, creencias y percepciones del grupo en cuanto a la seguridad, y de los comportamientos y actitudes en que se reflejan. La evolución del tratamiento de los aspectos de factores humanos y organizativos en las industrias con altos requisitos de seguridad ha llevado a la consideración de la cultura de seguridad en este tipo de instalaciones, entre las que se incluyen las centrales nucleares, como uno más de los factores con influencia en la seguridad.

Los modelos sociotécnicos básicos de las instalaciones con altos requisitos de seguridad tienen en cuenta tres elementos clave: “tecnología”, “ser humano” y “organización”. En los inicios de la industria nuclear, la atención se concentró fundamentalmente en el elemento tecnológico, manteniendo más relegados los análisis de la influencia de los aspectos de interacción del hombre y la máquina, de la organización, de la corporación, de los organismos reguladores, del Gobierno y de la propia sociedad en la seguridad. El modelo sociotécnico de Rasmussen, que representa estos niveles, puede verse en la figura 1.

La consideración de la importancia para la seguridad de cada uno de estos niveles adicionales y su consideración en profundidad se ha desarrollado a partir de la ocurrencia de incidentes, accidentes y catástrofes que han puesto de manifiesto su importancia desde el punto de vista de su contribución a dichos eventos.

Así, a finales de los años 70, cuando la seguridad de las centrales nucleares se basaba en su diseño y en lo que se consideraba era una tecnología “intrínsecamente segura”, el accidente nuclear en la unidad II de la central de Three Miles Island (Harrisburg, EE UU), ocurrido en 1979, evidenció la necesidad de reforzar la seguridad en los factores

Figura 1. Modelo socio-técnico de Rasmussen.



relativos a los individuos que explotan las centrales, en cuanto a su interacción con la máquina (las interfases hombre-sistema); en relación a los requisitos de información para la toma de decisiones; para diseñar un nuevo tipo de procedimientos de ayuda al diagnóstico, basados en síntomas; o para desarrollar una nueva aproximación, sistemática, al diseño de la formación.

Posteriormente, a mediados de los años 80, nuevas catástrofes, dentro y fuera del ámbito nuclear (Chernóbil, Challenger, Bopal, etc.), pusieron sobre la mesa la importancia del siguiente nivel, el organizativo, siendo paradigmático dentro del ámbito nuclear el desarrollo del concepto de cultura de seguridad (ver tabla 1).

De este modo, se fueron poniendo de manifiesto cada uno de los niveles anteriormente citados hasta llegar al reciente accidente de Fukushima Daiichi (2011, Japón), en el cual distintos análisis realizados identifican debilidades (también importantes fortalezas) en todos los niveles del modelo sociotécnico: en la parte tecnológica y humana, en la cultura de seguridad de la organización que explotaba la planta, en la actuación de la corporación, en las decisiones y actuaciones de los organismos reguladores y del Gobierno, e, incluso, derivadas de la influencia de la cultura y la sociedad japonesas.

Una vez identificada la importancia de la CS en las organizaciones, el paso siguiente fue desarrollar caracterizaciones o *parametrizaciones* de la misma, con objeto de facilitar su medida, esto es, la identificación de debilidades o áreas de mejora que permitan anticiparse a una degradación que pudiera desembocar en incidentes o accidentes como los mencionados anteriormente.

Se desarrollaron, de este modo, diferentes *parametrizaciones* de la CS, entre las que se pueden mencionar las

Tabla 1. Características y atributos de la cultura de seguridad según OIEA

La seguridad es un valor claramente reconocido

- La elevada prioridad otorgada a la seguridad aparece en la documentación, en las comunicaciones y en la toma de decisiones.
- La seguridad condiciona la asignación de recursos.
- La importancia estratégica de la seguridad se refleja en el plan de negocios.
- Los profesionales creen que la seguridad y la producción van de la mano.
- El proceso de toma de decisiones está orientado, de forma proactiva y a largo plazo, hacia las cuestiones de seguridad.
- La sociedad acepta y apoya aquellas actitudes que favorecen la seguridad.

El liderazgo en aras de la seguridad está claro

- La cúpula directiva está claramente comprometida con la seguridad.
- El compromiso con la seguridad es evidente en todos los niveles de la gestión.
- Hay un liderazgo visible por parte de la dirección en actividades de la seguridad.
- De forma sistemática, se desarrollan habilidades para liderar.
- La dirección garantiza que hay suficientes profesionales competentes.
- La dirección fomenta la implicación de los profesionales para mejorar la seguridad.
- Las implicaciones para la seguridad se tienen en cuenta en la gestión del cambio.
- La dirección realiza esfuerzos continuados para generar la fluidez comunicativa y la apertura de la organización.
- La dirección tiene la habilidad de resolver conflictos cuando resulte necesario.
- La relación entre directivos y profesionales está basada en la confianza.

La responsabilidad en materia de seguridad está clara

- La relación existente con el organismo regulador asegura la rendición de cuentas del titular en materia de seguridad.
- Los roles y responsabilidades están claramente definidos y asumidos.
- Existe un alto nivel de cumplimiento de las normas reguladoras y los procedimientos.
- La dirección delega responsabilidades con la autoridad necesaria, permitiendo que se establezcan los niveles de responsabilidad.
- La consideración de la seguridad como valor “propio” es evidente en todos los niveles organizativos y entre los profesionales.

La seguridad está integrada en el conjunto de actividades

- La confianza impregna la organización.
- Se tienen claramente en cuenta todos los tipos de seguridad: industrial, medioambiental y física.
- La calidad de la documentación y de los procedimientos es buena.
- La calidad de los procesos, en la planificación, puesta en marcha y revisión, es buena.
- Los profesionales tienen conocimientos suficientes de los procesos de trabajo.
- Se tienen en cuenta factores que afecten a la motivación y la satisfacción profesional.
- Existen buenas condiciones laborales en cuanto a tiempos, carga de trabajo y estrés.
- Hay cooperación y trabajo en equipo entre departamentos y entre las distintas disciplinas.
- La organización y las condiciones materiales reflejan el compromiso de la organización con la excelencia.

La seguridad forma parte del autoaprendizaje

- La capacidad crítica prevalece en todos los niveles de la organización.
- Se apoya la apertura para notificar desviaciones y errores.
- Se emplean las revisiones internas y externas.
- Se utilizan la experiencia organizativa y operativa, dentro y fuera de la instalación.
- Se facilita el aprendizaje a través de la capacidad de reconocimiento y diagnóstico de desviaciones, de formulación y puesta en marcha de soluciones y del control de los efectos de las acciones correctoras.
- Se realiza un seguimiento de los indicadores de cumplimiento de la seguridad, se analizan las tendencias, se evalúan y se actúa en consecuencia.
- Hay un desarrollo sistemático de competencias individuales.

cinco características y 38 parámetros de la CS del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), los siete principios de INPO (Institute of Nuclear Power Operations), o los 13 componentes y 40 aspectos transversales del *Reactor Oversight Process* (ROP) de la NRC. Todas ellas tienen en común que representan dimensiones organizativas, que permiten asomarse a los elementos de la cultura de una instalación en cuanto a su aproximación a la seguridad. Las metodologías de análisis de la CS parten de uno de estos modelos y valoran, a través de la observación y evaluación de los comportamientos y actitudes de los individuos que componen una organización, de sus opiniones y percepciones, de los elementos que conforman la organización (los documentos que plasman su misión, visión y valores, sus planes estratégicos, su estructura, sus procedimientos...), o de la propia historia de la organización, la madurez de cada uno de los parámetros o dimensiones que conforman la CS.

Pero, ¿es visible todo lo relacionado con la cultura? De acuerdo con el concepto introducido en las primeras líneas de este artículo, se deben considerar diferentes niveles en el análisis de la cultura, habitualmente representados gráficamente en forma de iceberg, como muestra la figura 2. En el nivel más profundo, difícilmente accesible, se sitúan las convicciones y creencias compartidas por un grupo, que mueven silenciosamente los hilos del comportamiento grupal. En la punta del iceberg, los elementos más visibles, los denominados “artefactos” que representan a la organización, aparecen los comportamientos y actitudes personales, la configuración del espacio o la estructura organizativa, la situación de orden y limpieza que se observan en la instalación, los propios presupuestos... Entre ambos niveles, en uno intermedio, residen los valores que

la propia organización dice defender y practicar: sus “valores expuestos”.

Cualquier metodología de análisis de la CS deberá tratar de entender los niveles más profundos de las creencias y convicciones compartidas y para ello, en gran medida, deberá perseguir y analizar las posibles discrepancias entre lo que se dice (los valores expuestos), y lo que se hace (los artefactos). Ese trecho que un refrán castellano considera que puede existir entre el dicho y el hecho.

La cultura de seguridad en el *Reactor Oversight Programme*

En el caso del organismo regulador estadounidense, la NRC, la necesidad de llevar a cabo un seguimiento y de definir la adopción de medidas relacionadas con la cultura de seguridad de los titulares de las instalaciones nucleares surgió a raíz del incidente de la central nuclear de Davis-Besse (Ohio, EE UU).

Cuando, en 2002, se descubrió la existencia de grietas en la tapa de la vasija de Davis-Besse, una central nuclear situada en la primera columna, de respuesta del titular, en la matriz de acción del ROP, una de las preguntas fundamentales que surgió fue cómo había podido ocurrir un suceso semejante sin que los mecanismos de supervisión de la NRC alertaran de la degradación del comportamiento de la central. Es decir, cómo llegó a producirse, implicando no solo la existencia de corrosión en la tapa de la vasija, sino también cierta connivencia de la organización con ello, trabajando de espaldas a los problemas de seguridad que estaban ocurriendo, todo ello en una central que aparentemente operaba de manera adecuada, según el modelo de supervisión vigente.

Los análisis de causa raíz del suceso apuntaron a debilidades en el campo de la cultura de seguridad y, en ese momento, tanto los mecanismos de evaluación y de autocrítica de la NRC, como la labor

de supervisión del Congreso de los Estados Unidos, consideraron que existía una laguna en el esquema de supervisión de las centrales nucleares en ese país, relativa precisamente a esos aspectos organizativos y culturales que estaban en el origen del suceso y que quedaban fuera del esquema de supervisión del ROP.

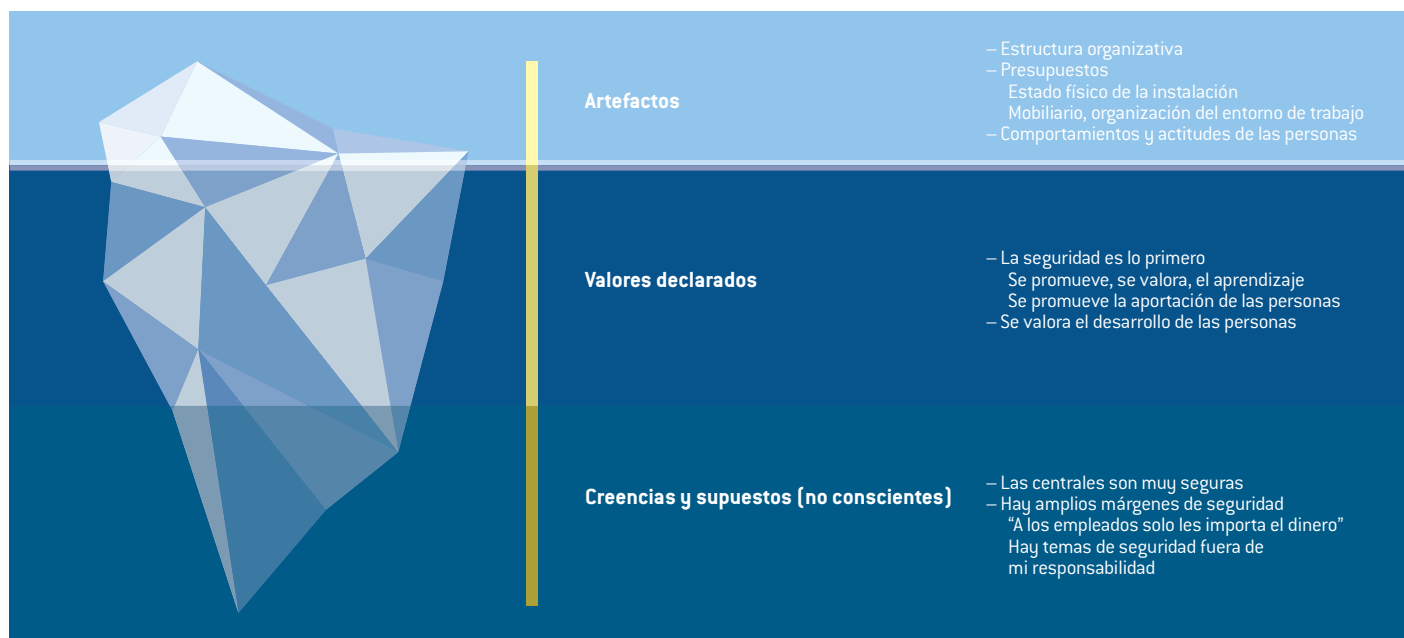
La necesidad de cubrir ese vacío derivó en un amplio esfuerzo interno de la NRC por incluir en su sistema de supervisión de centrales aquellos aspectos que hasta aquel momento se habían considerado como propios de cada organización, los relativos a su cultura. El resultado del trabajo culminó en julio de 2006, cuando se puede considerar inaugurado el “nuevo” ROP, con la CS introducida como un elemento más y caracterizada a través de áreas, componentes y aspectos transversales.

La filosofía era sencilla: la supervisión se llevaría a cabo por dos vías. La primera, a través de la identificación de las causas (en forma de aspectos transversales) de los hallazgos de inspección, y la contabilidad de estas a lo largo de un año para determinar la necesidad de adoptar acciones. La segunda, considerando implícitamente que la degradación del funcionamiento de una central, en el sentido de progresión en las columnas de la matriz de acción, es una consecuencia de la degradación de dimensiones organizativas y culturales del titular de la central, por lo que se requiere solicitar, o incluso llevar a cabo por parte de la propia NRC, evaluaciones de cultura de seguridad.

Consideración histórica de la cultura de seguridad desde el punto de vista del CSN

Los caminos de la NRC y el CSN en lo que a la CS se refiere no fueron, a diferencia de en otros muchos aspectos y disciplinas, paralelos. Mientras la NRC trabajaba sobre la hipótesis de que los aspectos organizativos y culturales de las

Figura 2. Niveles de la cultura de seguridad



empresas que gestionaban y explotaban las centrales nucleares pertenecían al ámbito “privado” de las compañías, el CSN desarrollaba junto con las centrales nucleares españolas y el grupo de investigación socio-técnica del Ciemat, un proyecto de investigación denominado “Impacto de la organización en la seguridad”, el Proyecto IOS, que en sus dos fases abarcó desde 1998 a 2005.

En el contexto de este proyecto, Consejo, centrales y Ciemat analizaron las distintas metodologías que, de acuerdo con el estado del arte del momento, eran capaces de evaluar la influencia de la cultura de las organizaciones que explotan instalaciones con altos requisitos de seguridad, como son las centrales nucleares, en su funcionamiento y en particular en su seguridad.

Uno de los productos del proyecto fue la selección de una de las metodologías analizadas (NOMAC, *Nuclear Organization and Management Analysis Concept*), a la que se sometió a una disección profunda para adaptarla a la cultura española y se llevó a cabo una prueba piloto en dos centrales nucleares del

parque español. Tras el resultado satisfactorio de estos *pilotos*, se concluyó la viabilidad de emplear la metodología NOMAC para evaluar la cultura organizativa, y, en definitiva, la CS.

La metodología NOMAC proporciona un marco teórico para el análisis de la cultura organizativa de seguridad de una instalación a través de un modelo organizativo, identifica un conjunto de dimensiones organizativas para el análisis y propone el empleo de cinco métodos complementarios de evaluación para estas dimensiones: análisis funcional, listas de chequeo de observación de comportamientos, encuestas, entrevistas semiestructuradas y escalas de medida del comportamiento o BARS. Estos métodos, que pueden ser empleados en cualquier contexto organizativo, suponen una combinación de herramientas con las que recoger datos cuantitativos y cualitativos que permiten la obtención de medidas objetivas y la comparación y confrontación de resultados para, por un lado, proporcionar confirmación de los resultados obtenidos por los diferentes métodos y, por otro, llevar a cabo el análisis de las

posibles discrepancias entre “el dicho y el hecho” del que se hablaba en el primer apartado.

El engranaje de esta metodología de análisis de la CS en los procesos de las centrales vino a través de los programas de evaluación y mejora de la seguridad en Organización y Factores Humanos (OyFH), que se comenzaron a desarrollar a finales de los años 90 y principios de 2000 en todas las centrales nucleares españolas como respuesta a un requisito del CSN. En el marco de estos programas de OyFH, las centrales integraron los programas de Evaluación y Mejora de Cultura de Seguridad.

Los programas de la CS que se desarrollaron en las centrales nucleares españolas contemplaban la realización de evaluaciones externas independientes de la CS con periodicidad de aproximadamente seis años, y de evaluaciones internas con periodicidad de aproximadamente dos. A partir de la información obtenida en estas evaluaciones, de las áreas de mejora y de los puntos fuertes identificados, las centrales podían desarrollar planes específicos de mantenimiento

y mejora de la CS, y analizar *a posteriori* la eficacia de las actuaciones desarrolladas para conseguir estos objetivos. De este modo, las centrales nucleares españolas se dotaron de un mecanismo de gestión, medida y mejora continua, de su CS.

El CSN estableció para el seguimiento de la implantación y del funcionamiento de los programas de OyFH inspecciones de periodicidad bial que se incorporaron al SISC una vez que este se implantó como sistema de supervisión en el CSN, estableciendo así en este aspecto una diferencia respecto de su homólogo ROP de la NRC.

El seguimiento del CSN de los programas de OyFH y, como parte integrante de ellos, de los programas de la CS, se enmarcó así dentro de una estrategia que podemos denominar “programática”, cuyo fin es promover y comprobar que los titulares de las centrales nucleares españolas disponen de programas y especialistas capaces de trabajar en la promoción y mejora continua de la CS, de identificar sus deficiencias y necesidades y de poner en marcha las actuaciones de mejora acordadas.

Por otro lado, el interés del CSN en los aspectos relativos a la CS no se centró únicamente en este seguimiento programático, habiendo establecido también programas específicos a través de la inspección de planes de acción puestos en marcha en respuesta a incidentes relevantes, desarrollados fundamentalmente a partir del análisis de las deficiencias organizativas y culturales que los habían motivado. Este tipo de actuaciones responden a una aproximación de tipo reactivo, con la cual se trató de garantizar que los titulares llevaban a cabo evaluaciones rigurosas para llegar a un diagnóstico completo de la situación de sus organizaciones, que definían planes de acción acordados con este diagnóstico y los ponían en práctica de manera

El Sistema Integrado de Supervisión de Centrales (SISC) puede seguirse en la web del CSN.

sistemática, verificando su eficacia una vez implantados.

La dificultad intrínseca de la supervisión de la cultura de seguridad de las centrales nucleares por parte del organismo regulador, que se puede paliar aprovechando de forma convergente las diferentes estrategias reguladoras (programática, reactiva, basada en resultados, influyente, etc.), unido a la experiencia de la NRC tras Davis-Besse, derivó en el reconocimiento de una necesidad en el sistema de supervisión del CSN: introducir de manera formal la CS en el sistema de supervisión del SISC.

Introducción de la cultura de seguridad en el SISC

Todos los elementos enunciados hasta ahora fueron tenidos en cuenta en el CSN para decidir la estrategia a seguir en la introducción formal de la CS en el SISC.

El primer paso que se siguió fue la asignación, entre 2007 y 2008, de una especialista en organización y factores humanos del CSN, Marta Barrientos, en las

oficinas centrales de la NRC en Rockville, Maryland. El doble objetivo era conocer de primera mano las modificaciones introducidas en el ROP y la forma en que se implantaban, y, por otro lado, comprender los motivos y consideraciones que habían conducido a ese desarrollo específico. Con todo ello se trataría de analizar la aplicabilidad de la sistemática al caso del CSN, teniendo en cuenta para ello las particularidades del tratamiento de la CS que ya se llevaba a cabo, así como las diferencias culturales y reguladoras que pudieran aconsejar desarrollos específicos. En el transcurso de la asignación se tuvo ocasión de participar, entre otras actividades, en la primera evaluación de la CS que llevó a cabo la NRC tras la introducción de la supervisión de la CS, de acuerdo a sus propios procedimientos, en una central (Palo Verde) situada en la cuarta columna de la matriz de acción, degradaciones múltiples, así como en el ejercicio de identificación de lecciones aprendidas que se llevó a cabo posteriormente.

Tabla 2. Componentes transversales del sistema de supervisión del CSN**En el área de Actuación Humana y Organizativa (AHO), se tienen en cuenta los siguientes componentes:**

1. Toma de decisiones
2. Recursos
3. Comunicación y cohesión
4. Planificación y coordinación del trabajo
5. Prácticas de trabajo y supervisión
6. Funciones y responsabilidad
7. Entorno de aprendizaje continuo
8. Gestión de cambios organizativos
9. Políticas y estrategias orientadas a la seguridad

En la de Identificación y Resolución de Problemas (IRP), se evalúan tres componentes:

10. Identificación de problemas y áreas de mejora
11. Evaluación de problemas y áreas de mejora
12. Resolución de problemas y áreas de mejora

Por último, el área Ambiente de Trabajo Orientado a la Seguridad (ATOS) cuenta con un solo componente:

13. Entorno que favorece la comunicación de preocupaciones sin miedo a represalias

Una vez finalizado el periodo de asignación, y analizados los conocimientos adquiridos, la primera decisión tomada en el CSN fue la de llevar a cabo una adaptación de la sistemática de tratamiento de la CS del ROP, que tuviera en cuenta las especificidades del CSN y mantuviera la aproximación a la CS seguida hasta el momento, y tratara de resolver aquellas debilidades en la sistemática del ROP que se habían identificado.

Para llevar a cabo esta tarea se creó un grupo de trabajo representativo de las distintas especialidades y funciones desarrolladas en el CSN, de tal modo que la metodología que se siguiera tuviese en cuenta los conocimientos, experiencia, necesidades, e incluso dificultades, de todos los colectivos que serían después responsables de su implantación.

Los conceptos básicos desarrollados por el grupo de trabajo se plasmaron en el denominado “Documento Conceptual sobre los Elementos de la supervi-

sión de la Cultura de Seguridad en el SISC”, que definía el marco de trabajo, el concepto de CS, los elementos y aproximaciones a la supervisión de la CS, las responsabilidades y las actuaciones previstas, y que fue la base de la posterior revisión de los procedimientos que debió llevarse a cabo.

La definición de la CS desarrollada en el CSN considera cultura (organizativa) de seguridad al conjunto de creencias, supuestos y valores que tienen un impacto en la seguridad y son compartidos por los miembros de la organización, así como las conductas y expresiones en las que los primeros se manifiestan.

La cultura de seguridad se caracteriza en el modelo propuesto por el CSN a través de 13 componentes transversales (CT, agrupados formalmente en tres áreas transversales; ver tabla 2), definidos como “aspectos organizativos que pueden afectar negativamente al fun-

cionamiento, medido por el SISC a través de sus resultados en uno o varios pilares de seguridad”. Los componentes transversales, a su vez, se ven afectados por los valores, creencias y supuestos de la cultura organizativa respecto a la seguridad de la instalación.

De acuerdo con el documento conceptual, el objetivo de la supervisión de la cultura de seguridad en el SISC será “identificar potenciales debilidades en aspectos organizativos y culturales con impacto en la seguridad de las centrales nucleares” y “anticiparse a las consecuencias que estas puedan tener sobre el funcionamiento seguro de las plantas, así como supervisar la identificación de sus causas y la corrección de las mismas”.

Este objetivo se concreta en la presentación de la doble aproximación a la supervisión de la CS del SISC, programática (a través de las inspecciones a los programas de OyFH) y basada en resultados (a través del análisis de estos, hallazgos e indicadores, del SISC), que pretenden ser complementarias al incidir, por un lado, en la capacidad del propio titular para gestionar la cultura de su organización y mantener, por otro, en el CSN herramientas que permitan tomar acciones si se considera que puede existir una degradación en aspectos relativos a la CS.

La supervisión basada en resultados de la CS tiene a su vez una doble vertiente, una de ellas basada en los hallazgos de las inspecciones, y otra relacionada con la medida del funcionamiento de cada central según su posición en la matriz de acción.

La primera vertiente prevé la participación del conjunto de los inspectores del CSN para asociar componentes transversales a sus hallazgos, esto es, prevé la inclusión en sus objetivos de inspección de la determinación de si ese incumplimiento importante para la seguridad, ese hallazgo, ha sido causado

por una debilidad en una de las dimensiones organizativas que representan esta CS, o existe una contribución significativa de estos a la existencia del hallazgo. Este tipo de tratamiento involucrará al conjunto de inspectores del organismo, permitiendo obtener información “transversal” de todas las áreas inspeccionadas, complementando así a la supervisión programática realizada únicamente por los especialistas en OyFH del CSN. Esto ha requerido que los inspectores reciban formación relativa a la nueva sistemática y, sobre todo, al significado del concepto de CS y de los CT. En definitiva, esta aproximación supone una ampliación cualitativa del enfoque de las inspecciones, que hasta la fecha tenían un carácter exclusivamente tecnológico, y en las que con esta sistemática se tratarán de identificar también los aspectos organizativos y culturales asociados a los hallazgos de inspección. Todo ello presenta, por otro lado, la ventaja de permitir que la información sobre estas debilidades organizativas sea recogida, objetivada (al ser necesario justificar con hechos las asignaciones), sistematizada y evaluada.

Los resultados (hallazgos de inspección y sus componentes transversales asociados) se analizarán en una ventana rodante de cuatro trimestres, de tal manera que si en ese tiempo afloran al menos ocho hallazgos con el mismo componente transversal (de las áreas Acción Humana y Organizativa —AHO— e Identificación y Resolución de Problemas —IRP—), se considerará superado el nivel de alerta. En ese momento, el Comité de Categorización de Hallazgos deberá valorar, con la información disponible en el CSN o con la proporcionada por el titular a través de sus alegaciones, si la instalación ha identificado a su vez la existencia de una debilidad en ese componente transversal y ha sido capaz de poner en marcha

actuaciones para resolverla, que sean adecuadas en tiempo y contenido. En caso negativo, se declarará la existencia de un Componente Transversal Significativo, requiriendo que se lleve a cabo un análisis y un plan de actuación, que serán seguidos por el CSN.

El número de ocho hallazgos con el mismo CT empleado como umbral supone una diferencia respecto a los criterios del ROP, donde se emplea un umbral de más de tres hallazgos, pero se trabaja no al nivel de los 13 CT, sino de los 40 aspectos en que estos componentes se dividen. Para, entre otras cosas, tratar de determinar el umbral adecuado, el CSN desarrolló de forma piloto un análisis de hallazgos de inspección del primer trimestre de 2008 que permitió hacer una estimación con la que se llegó a este número. El número de ocho representa el umbral que hubiera permitido al CSN discriminar en su supervisión, en ese momento, a una central nuclear con determinadas debilidades organizativas, del resto.

En el caso particular del área Ambiente de Trabajo Orientado a la Seguridad (ATOS), un solo hallazgo al que se haya asociado el CT correspondiente (esto es, se haya considerado como causa o contribución relevante al hallazgo el miedo a represalias de algún trabajador), o una acción reguladora derivada de una denuncia al CSN por parte de un trabajador de una central nuclear, que se considere no sean aislados, darían lugar al mismo tipo de actuaciones. Este tipo de respuesta, mucho más inmediata, da cuenta de la importancia que desde el CSN (como ocurría en la NRC) se otorga al hecho de que las instalaciones establezcan un ambiente de trabajo libre de culpa en el que todos los trabajadores sean conscientes de su contribución a la seguridad y sean capaces de trabajar de acuerdo a esa prioridad comunicando, cuando sea el caso, problemas de seguridad sin miedo a sufrir represalias.

En el caso de que durante el segundo año después de declararse un componen-



Cambio de los generadores de vapor en la central nuclear de Ascó.



Inspección de una barra de control en la central nuclear de Cofrentes.

te transversal significativo se mantengan los criterios que llevaron a su apertura (en cuanto a número de hallazgos con ese mismo CT y a la actuación del titular, que habrá sido objeto de supervisión por parte del CSN), se considerará el componente transversal significativo (CTS) como “reiterativo”. En este caso, se deberá valorar la necesidad de solicitar una evaluación externa independiente de la CS, adicional a las que se realizan en el contexto de los programas de CS. En este caso, como también en la propia definición de CTS y las acciones derivadas de su declaración, en el CSN se han introducido diferencias respecto a la NRC, tratando de hacer una y otras lo más sistemático y gradual posible.

Si bien, hasta ese momento, se habrá considerado que las deficiencias se refieren únicamente a una dimensión organizativa en particular, y en ese

sentido, se estará trabajando fundamentalmente al nivel de los artefactos, de la parte visible del “iceberg” del modelo de CS, en el momento de catalogar como reiterativo un CTS se está comenzando a intuir la necesidad de llegar a niveles más profundos, analizando las creencias y convicciones de la organización para así trabajar sobre las necesidades de mejora.

La segunda vertiente de la aproximación basada en resultados, y en la cual se trabaja sobre los niveles profundos de la cultura desde el punto de vista de análisis y actuación, parte de la premisa de que la progresión de una central en la matriz de acción, que representaría de acuerdo a la filosofía del SISC un deterioro en su funcionamiento (medido por sus resultados en indicadores y hallazgos), está determinada por deficiencias en la organización y su cultura.

Es por ello que, en el caso de que una central alcance las columnas 2 y 3, la matriz de acción prevé que los análisis de causa raíz tengan especialmente en cuenta aspectos organizativos y culturales; y que cuando pase a la columna 4 de la matriz de acción, el titular realice una evaluación de cultura de seguridad y el desarrollo de un plan de acción acorde a sus resultados (o, en el caso de la columna 3, se valore la necesidad de llevar a cabo este tipo de evaluaciones).

Una vez desarrollada la metodología en el CSN, recogidos los comentarios del sector, modificados los correspondientes procedimientos de inspección del CSN e impartida la formación (tanto internamente a los inspectores del CSN, como en las propias plantas), durante el periodo de aplicación piloto los inspectores adquirirán experiencia en esta nueva aproximación. Finalmente, el periodo piloto culminará con la identificación de lecciones aprendidas, que, en su caso, mejoren y enriquezcan el inicio de la supervisión de la cultura de seguridad en el SISC.

Con la introducción de la aproximación basada en resultados a la supervisión de la CS, el CSN se ha dotado de una herramienta que complementa el tratamiento de la CS que se venía realizando que pretende aportar elementos adicionales de representatividad, multidisciplinariedad y objetividad, que proporciona alertas sobre posibles degradaciones en aspectos organizativos y culturales de las centrales nucleares, y que, al igual que en todas las facetas del SISC, permite llevar a cabo una graduación tanto de los requisitos a imponer a las centrales, como del tipo de supervisión del CSN a realizar en cada caso. Y que, en definitiva, trata de ofrecer una contribución más a la mejora de la supervisión reguladora y, por ende, de la propia seguridad nuclear, de las centrales nucleares españolas. ©



Marco normativo para la restauración de zonas contaminadas después de un accidente nuclear

Los accidentes nucleares y radiológicos del pasado han proporcionado una amplia experiencia en la restauración de zonas contaminadas que ha sido objeto de especial atención por la comunidad internacional y se ha recogido en la normativa de muchos países. Pero el accidente de Fukushima Dai-ichi ha puesto en evidencia la necesidad de fortalecer el conocimiento de las situaciones de exposición y la recuperación medioambiental. En este artículo se presentan brevemente los principios, criterios y normas de protección radiológica aplicables a estas situaciones, los requisitos de los programas de restauración y de vigilancia a largo plazo y una reflexión sobre los retos que se plantean de cara al futuro.

› Lucila María Ramos Salvador,
Subdirectora de Protección
Radiológica Ambiental del CSN

Existen en todo el mundo zonas contaminadas como consecuencia de las pruebas nucleares y de los diversos accidentes radiológicos o nucleares que han producido un impacto importante sobre la población y el medio ambiente. Entre estos cabe citar el accidente con una fuente radiactiva de cesio-137 ocurrido en Goiânia, Brasil (1987); el accidente de la central nuclear de Chernóbil en Ucrania (1986); las pruebas nucleares británicas entre 1955 y 1963 en Maralinga, Australia; el accidente de avión con armas termonucleares estadounidenses en Palomares (1966) y, recientemente, el de la planta nuclear de Fukushima Dai-ichi en Japón (2011).

Estos accidentes han representado desafíos importantes, produciendo situaciones diversas de contaminación a largo plazo que han requerido el desarrollo de diferentes opciones de recuperación. Estas actuaciones han proporcionado una amplia experiencia en proyectos de desmantelamiento y restauración que ha sido puesta a prueba en Fukushima. El accidente de Fukushima Dai-ichi ha supuesto un replanteamiento de

muchos aspectos relativos a la seguridad de las instalaciones nucleares, a las medidas necesarias para hacer frente a una emergencia nuclear y a la gestión de las zonas contaminadas una vez concluida esta.

La forma de abordar la restauración de zonas contaminadas ha venido siendo objeto de especial atención por la comunidad internacional y el ordenamiento jurídico de diversos países recoge normas específicas de protección para situaciones de exposición existente¹ basadas en las recomendaciones internacionales.

1. Sistema normativo

A nivel internacional, el marco regulador aplicable a la restauración de zonas afectadas por un accidente se recoge en diversas publicaciones que establecen las

¹ Situación de exposición existente, de acuerdo con ICRP, es aquella que ya existe cuando tiene que tomarse una decisión sobre su control. La restauración de una zona contaminada a largo plazo debido a un accidente nuclear es considerada por ICRP como una situación de exposición existente.



A la izquierda la central de Chernóbil, que sufrió un accidente en 1986. A la derecha, misión del OIEA visitando las instalaciones de Fukushima.

responsabilidades de las diferentes autoridades y las medidas de protección radiológica aplicables.

Las recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) —Publicación ICRP-103[1]— definen los principios generales de protección aplicables en los tres tipos de situaciones de exposición: planificada, de emergencia y existente.

Las nuevas Normas Básicas de Seguridad (BSS) del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) aprobadas en 2011 [2] sustituyen a las publicadas en 1996 [3] y adoptan las recomendaciones de ICRP-103. Los Principios Fundamentales de Seguridad del OIEA [4] también consideran las acciones de protección para reducir los riesgos en las situaciones de exposición existente y en las no reguladas (Principio 10). Entre las normas del OIEA cabe destacar la Guía de Seguridad WS-G.3.1 [5] que describe el proceso de rehabilitación de zonas afectadas por actividades y accidentes pasados. Esta guía se encuentra actualmente en revisión para su adaptación a las nuevas BSS.

Las directrices más recientes sobre la protección del público que reside en áreas contaminadas durante un largo período de tiempo como consecuencia de un accidente nuclear, son las contenidas en

la Publicación 111 de ICRP [6], que desarrolla las recomendaciones de la Comisión para estas situaciones.

1.1 Responsabilidades en la restauración de zonas contaminadas
En las situaciones de exposición existente intervienen numerosos agentes con diferentes funciones y grados de responsabilidad. Las BSS del OIEA definen las responsabilidades en materia de restauración de zonas con materiales radiactivos residuales. De acuerdo con estas normas, el gobierno debe asegurar que se evalúan todas las situaciones que hayan sido identificadas, a fin de determinar su posible impacto radiológico, asignando responsabilidades y estableciendo niveles de referencia apropiados. Para ello, el marco jurídico y regulador a desarrollar por el gobierno debe:

— Especificar las situaciones de exposición existente y los principios generales en los que se basan las estrategias de protección que se elaboren para reducir la exposición, una vez determinado que las acciones de remedio y de protección están justificadas.

— Asignar responsabilidades en lo relativo al establecimiento y aplicación de estrategias de protección al organismo regulador y otras autoridades com-

petentes, a los titulares de autorizaciones y a otros agentes relacionados con la aplicación de acciones de remedio y de protección.

— Adoptar disposiciones para permitir la participación de los grupos de interés en decisiones relacionadas con la elaboración y aplicación de estrategias de protección, según corresponda.

El organismo regulador, o la autoridad que en su caso haya determinado el gobierno para establecer una estrategia de protección, debe asegurar que se definan los objetivos a conseguir y los niveles de referencia requeridos. Deberá, además, implantar la estrategia acordada, incluyendo:

a) Adoptar disposiciones para la evaluación de las acciones de remedio disponibles y de la eficiencia de las acciones previstas y aplicadas y

b) Garantizar que la población expuesta disponga de información sobre los posibles riesgos para la salud y los medios disponibles para reducir la exposición y los riesgos asociados a esta.

En España, el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes (RPSRI) considera las intervenciones en caso de emergencia o en caso

de exposición perdurable² en el título VI. El artículo 58 establece que el Consejo de Seguridad Nuclear asegurará que la aplicación y la magnitud de las intervenciones se realicen observando los siguientes principios:

a) Solo se emprenderá una intervención cuando la reducción del detrimento de la salud debido a la radiación sea suficiente para justificar los efectos nocivos y los costes de la intervención, incluidos los costes sociales.

b) La forma, magnitud y duración de la intervención deberán optimizarse de manera que sea máximo el beneficio correspondiente a la reducción del detrimento a la salud, una vez deducido el perjuicio asociado a la intervención.

c) Los límites de dosis no se aplicarán en caso de intervención, salvo los establecidos para los trabajadores que las realicen. El Consejo de Seguridad Nuclear establecerá niveles de intervención que constituirán indicaciones para determinar en qué situaciones es adecuada una intervención.

El artículo 61, que regula la aplicación de las intervenciones en caso de exposición perdurable, establece que las autoridades competentes, en función de los riesgos que entrañe la exposición, y previo informe del CSN, deberá:

- a) Delimitar la zona afectada;
- b) Aplicar un sistema de vigilancia de las exposiciones;
- c) Realizar las intervenciones oportunas teniendo en cuenta las características de la situación;
- d) Regular el acceso y el uso de los terrenos o edificios situados dentro de la zona delimitada.

En nuestro país existen algunas situaciones de exposición perdurable, pero Palomares es el único caso de exposición



Acciones de vigilancia del medio ambiente.

existente debido a un accidente nuclear, y en él se han aplicado las disposiciones que establece el título VI, como se verá más adelante.

1.2 Aplicación de los principios de protección radiológica

Los principios fundamentales de protección aplicables a situaciones de exposición existente incluyen la justificación de las estrategias de protección y la optimización de la protección obtenida mediante su aplicación. La justificación y optimización de estrategias de protección son una evolución de anteriores recomendaciones de la ICRP, que se centraron en la justificación y optimización de las medidas de protección individual (ICRP-111) [6].

Durante el proceso de optimización se utilizan niveles de referencia para planificar estrategias de protección que darían lugar a dosis residuales estimadas inferiores a estos niveles. Los límites de dosis no se aplican porque las situaciones de exposición existentes no se pueden gestionar de forma apriorística.

a) Justificación de las estrategias de protección

La justificación es un principio relacionado con la fuente de exposición, que debe asegurar que cualquier decisión que

modifica la situación de la exposición debe producir más beneficios que daños. En estas situaciones, la justificación aplica inicialmente a la decisión fundamental que deben adoptar las autoridades para permitir a la población vivir permanentemente en zonas contaminadas. En segundo lugar, el principio de justificación se aplica para definir las estrategias de protección aplicables a fin de reducir las exposiciones individuales.

La protección radiológica no es el único elemento a considerar en la justificación de las estrategias de protección, que pueden estar condicionadas por factores económicos, políticos, ambientales, sociales y psicológicos. Estos factores podrían ser determinantes en las decisiones adoptadas y deben incluirse en el proceso de justificación.

Todas las acciones incluidas en una estrategia de protección deben tener en cuenta la justificación, tanto las implantadas a nivel central o local por las autoridades, expertos y profesionales, como las aplicadas directamente por la población expuesta como acciones de autoprotección.

b) Optimización de estrategias de protección

La optimización es un proceso relacionado con la fuente de exposición, que

² El término exposición perdurable del RPSRI es equivalente a exposición existente.

debe asegurar la selección de la mejor estrategia de protección en las circunstancias existentes. Para reducir la inequidad en la distribución de las dosis individuales se deben establecer restricciones en las dosis o riesgos debidos a una fuente determinada. ICRP-103 [1] propone utilizar el término “nivel de referencia” para situaciones de emergencia y existentes, manteniendo “restricción de dosis” para situaciones de exposición planificada, lo cual representa un cambio respecto a ICRP-60 [7]. El motivo es tener en cuenta que, en estos casos, una situación puede estar caracterizada por una amplia gama de exposiciones y el proceso de optimización puede aplicarse a niveles iniciales de dosis individuales por encima del nivel de referencia.

El proceso de optimización en situaciones de exposición existente tras una emergencia presenta algunas particularidades que suponen retos importantes, como el posible conflicto de intereses entre consumidores y productores, población local frente a población nacional e internacional y las múltiples decisiones

que debe tomar la población en su vida cotidiana.

La optimización de la protección es un proceso iterativo, que considera tanto factores técnicos como socioeconómicos y requiere juicios cualitativos y cuantitativos. El proceso debe ser sistemático y estructurarse de modo que se tengan en cuenta todos los aspectos relevantes. Inicialmente las exposiciones pueden ser bastante elevadas y debe darse prioridad a la reducción de las dosis más altas, pero los esfuerzos deben continuar para reducir todas las exposiciones con el tiempo. En la figura 1 se presenta un esquema del proceso.

La mejor opción o estrategia es siempre específica de la situación de exposición y representa el mejor nivel de protección que puede lograrse en las circunstancias dadas. Por lo tanto, no es importante determinar, *a priori*, un nivel de dosis por debajo del cual se debe realizar el proceso de optimización. Sin embargo, optimizar la protección no es minimizar las dosis. La protección optimizada es el resultado de una evalua-

ción que equilibra cuidadosamente el detrimento asociado a la exposición y los recursos disponibles para la protección de los individuos. Así, la mejor opción no tiene por qué ser necesariamente la que de lugar al nivel más bajo de dosis residual.

1.3 Niveles de referencia

Los niveles de referencia se establecen en términos de dosis efectiva anual individual (mSv/año), y a veces se definen niveles derivados de concentración de actividad, como los fijados para alimentos, agua, o bienes de consumo. Estos niveles se utilizan de forma prospectiva, para la planificación de estrategias de protección, y retrospectiva, como punto de referencia para juzgar la eficacia de las estrategias de protección aplicadas.

La ICRP-103 [1] propone tres bandas de restricciones o niveles de referencia según las características de la exposición (de 100 a 20 mSv, de 20 a 1 mSv y por debajo de 1 mSv), teniendo en cuenta la controlabilidad de la exposición, el beneficio para las personas o la sociedad y las

Figura 1. Proceso de optimización de la protección en situaciones de exposición tras una emergencia

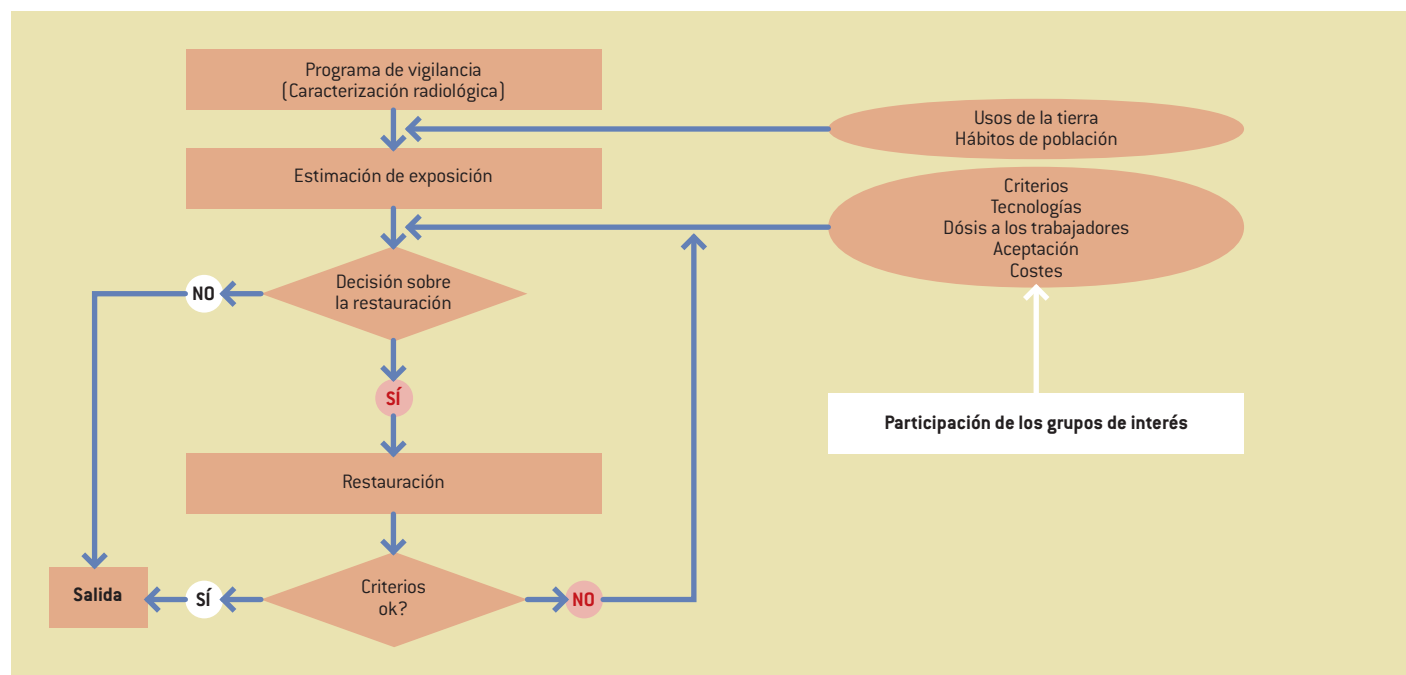
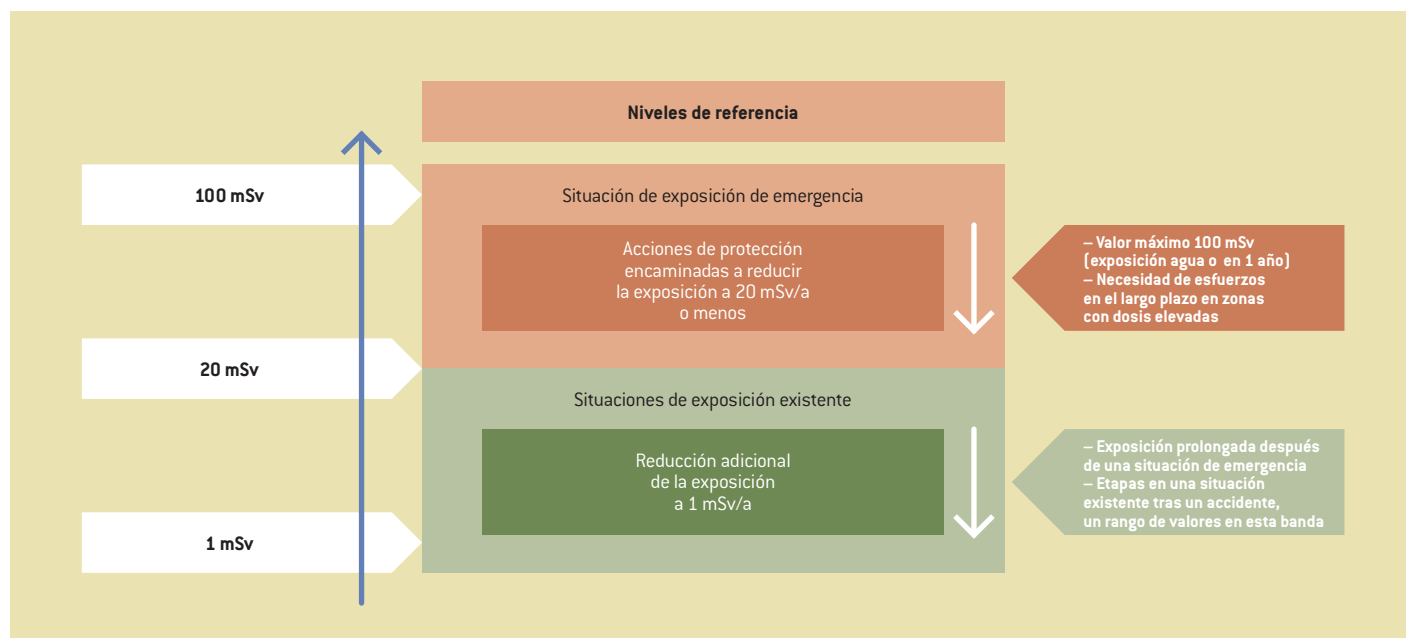


Figura 2. Niveles de referencia para la protección del público en caso de emergencia y en situaciones de exposición existente.



medidas de protección radiológica que tendrían que ser implantadas (figura 2).

En general, la mayoría de los habitantes prefiere permanecer en sus casas en lugar de ser reubicados en zonas no contaminadas. Por tanto, cuando el nivel de contaminación no es tan alto como para impedir actividades humanas sostenibles, las autoridades deberán implantar todas las medidas de protección necesarias para permitir que las personas sigan viviendo en las áreas contaminadas. Estas consideraciones sugieren que los niveles de referencia deberían estar en la banda de 20-1 mSv.

El objetivo a largo plazo es “reducir la exposición a niveles cercanos o similares a situaciones consideradas como normales”, y la ICRP-103 recomienda que el nivel de referencia para la optimización de la protección de las personas que viven en zonas contaminadas se seleccione en la parte inferior de dicha banda. La experiencia de accidentes pasados demuestra que un valor típico utilizado es 1 mSv/año, como se observa a continuación.

En el accidente de Goiânia, las autoridades brasileñas aplicaron como crite-

rio una dosis equivalente efectiva de 5 mSv durante el primer año después de las acciones de limpieza, asegurando una dosis promedio inferior a 1 mSv/año durante la vida (70 años) [8].

En Maralinga, donde el plan de restauración se inició en 1996 y concluyó cuatro años después, se adoptó un criterio de dosis efectiva anual al grupo crítico, bajo condiciones de ocupación a tiempo completo, de 5 mSv, límite de dosis al público en ese momento [9].

En Palomares, el CSN estableció en 2003 los siguientes criterios: restricción total de uso de los terrenos contaminados si las dosis estimadas superan 5 mSv/a; posibles restricciones parciales, objeto de estudio caso a caso, tras un análisis de optimización, si estas dosis superan 1 mSv/a; para dosis inferiores a 0,01 mSv/a no se impone ninguna restricción, por entenderse la situación optimizada [13].

En Bielorrusia se modificó en 2001 la ley sobre “la protección social de los ciudadanos afectados por el desastre en la central nuclear de Chernóbil”, estableciéndose que en áreas donde no existan restricciones sobre las condi-

ciones de vida y trabajo de la población, la exposición promedio total no debe exceder 1 mSv/año. De acuerdo con esta ley, si la exposición promedio de la población supera 1 mSv/año, se deben aplicar medidas de protección, si está entre 0,1 y 1 mSv/año, se deben tomar acciones acordes con la situación, y si la exposición es menor de 0,1 mSv/año, no es necesario tomar medidas de protección [10].

En Fukushima, el objetivo fijado por el gobierno japonés ha sido reducir la exposición en un 50% para el público en general y en un 60% para los niños, en aquellas áreas con dosis comprendidas entre 20 y 1 mSv/a, en el plazo de dos años (agosto de 2013) [11].

El hecho de que las exposiciones se hayan reducido por debajo del nivel de referencia no es una condición suficiente para suspender acciones de protección mientras haya espacio para continuar la reducción conforme al proceso de optimización. La continuidad de tales acciones permitiría, probablemente, reducir las exposiciones a niveles cercanos o similares a valores normales.

2. Programas de restauración y vigilancia a largo plazo

La gestión de una situación de exposición tras un accidente nuclear requiere implantar un programa de restauración, que considere, entre otros, aspectos sociales, económicos, sanitarios y ambientales acordes con el nivel de contaminación y su distribución. La implantación de estrategias de protección es un proceso dinámico asociado a la evolución de la situación radiológica, e incluye acciones tomadas por las autoridades a nivel nacional o local y por la población afectada. La participación de la población es clave para asegurar su eficacia.

La prioridad de las estrategias de protección implantadas por las autoridades es proteger a las personas con riesgos de exposición más elevados, reduciendo al mismo tiempo todas las exposiciones individuales a niveles tan bajos como sea razonablemente posible. Esto implica la evaluación de la distribución de dosis, la comparación de todas las dosis con el nivel de referencia y la optimización de la protección.

Estrategias típicas aplicables en situaciones de exposición perdurable son lim-

pieza de edificios, rehabilitación de suelos y vegetación, cambios en las prácticas ganaderas, vigilancia del medio ambiente y de los productos de consumo, suministro de alimentos no contaminados y gestión de residuos resultantes de las acciones de descontaminación o de mercancías contaminadas no comercializables. Además, es necesario facilitar a la población información, orientación, instrucciones, etc.

Es esencial implantar un sistema de vigilancia para evaluar los niveles de exposición de la población y de contaminación ambiental que proporcione información sobre tasas de dosis ambientales, concentraciones de radionucleidos en los alimentos y el medio ambiente y la contaminación interna de los individuos. Los sistemas de registro son clave para valorar la evolución de la exposición y la efectividad de las estrategias de protección.

La gestión de los alimentos contaminados y otros productos de consumo producidos en las zonas afectadas presentan una problemática compleja debido a dificultades de aceptación en el mercado. Los niveles de referencia derivados juegan un papel importante, aunque exis-

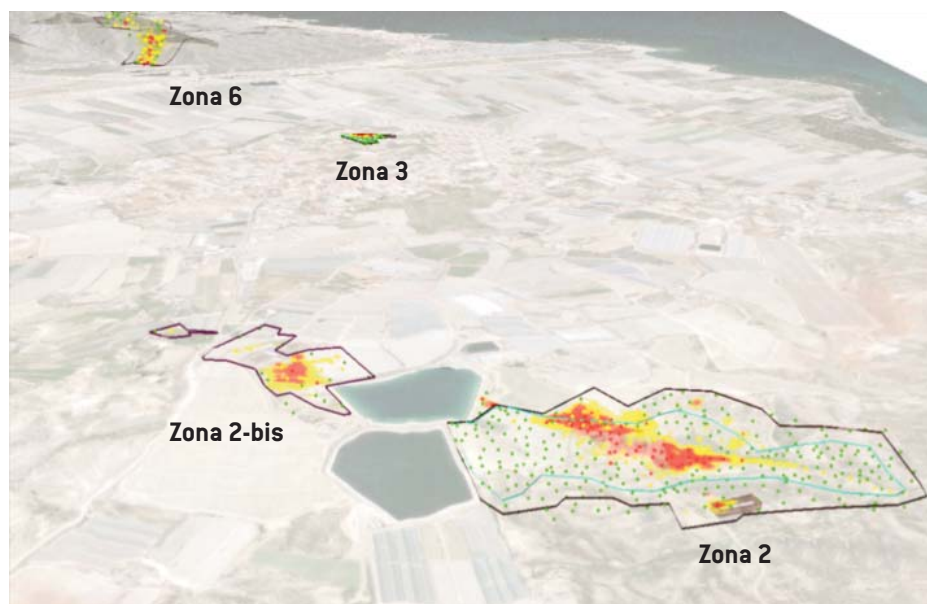
ten inconsistencias que pueden dificultar su aplicación.

La población puede tomar, con el apoyo de las autoridades, algunas actuaciones, denominadas por la ICRP “acciones de autoayuda”, con el objetivo de caracterizar su propia situación radiológica. Estas acciones consisten principalmente en la vigilancia de la calidad radiológica de su medio ambiente directo, de su propia exposición externa e interna y en adaptar su forma de vida en consonancia para reducir su exposición.

También es necesario controlar la salud de la población afectada, dadas las incertidumbres sobre los posibles efectos futuros de la exposición recibida desde la fase de emergencia, siendo necesario establecer un censo y realizar la evaluación temprana de las dosis. Después, los programas de vigilancia de salud a largo plazo deben realizar el seguimiento de personas que han recibido exposiciones significativas durante la fase de emergencia, la supervisión médica de la población en general y el mantenimiento de registros para estudios epidemiológicos potenciales.

En Palomares, tras el accidente, se llevó a cabo una operación de limpieza de los terrenos afectados en colaboración con las fuerzas armadas norteamericanas y la Junta de Energía Nuclear estableció luego un programa de seguimiento radiológico de la población y de las áreas afectadas, que continúa desarrollando en la actualidad el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat).

En 2001 empezaron a producirse cambios que podían conducir a una utilización extensiva e intensiva de los suelos, dando lugar a movimientos de tierra importantes y a una relocalización de la contaminación remanente en los mismos. Ante estas circunstancias, el CSN realizó una evaluación detallada de la situación radiológica, definió los criterios



Este mapa de la zona de Palomares muestra las áreas con valores que superan los criterios de restricción de uso parcial (amarillo) y total (rojo) establecidos por el CSN.



Trabajos iniciales de descontaminación de la zona de Palomares tras el accidente.

radiológicos descritos anteriormente y elaboró una propuesta de actuación (ver mapa de página anterior).

Como resultado de todo ello, la Ley 62/2003 [12] incluyó, en el artículo 130, disposiciones relativas a un plan a realizar en el área de Palomares. Este artículo requería que, en el plazo de seis meses, el Gobierno aprobase un plan de investigación energética y medioambiental a ejecutar por el Ciemat, previo informe del CSN. Las actuaciones comprendidas en el plan se declararon de interés general y llevaban implícita la declaración de utilidad pública a los efectos previstos en la ley de expropiación forzosa.

El Ciemat llevó a cabo una caracterización tridimensional de toda la zona afectada, estableciendo medidas para garantizar las restricciones de uso acordes con los criterios definidos por el CSN. Elaboró, así mismo, un Plan Preliminar de Restauración, que fue apreciado favorablemente por el CSN en 2010, estando supeditado el plan definitivo al resultado de las negociaciones con el

gobierno americano sobre la gestión de los residuos generados [13].

En los últimos años, la participación de los grupos de interés se ha situado de forma constante al frente de las decisiones en el ámbito político. A medida que ha aumentado la experiencia en la participación de los grupos de interés, ha sido posible utilizar muchas de las lecciones aprendidas como base para el desarrollo de buenas prácticas entre la comunidad de protección radiológica.

3. Retos futuros

Las situaciones creadas por los accidentes pasados han sido debatidas ampliamente en numerosos foros, como los promovidos por el OIEA o la Nuclear Energy Agency (NEA) de la OCDE, y han sido objeto de programas de investigación específicos en la Unión Europea (Proyectos Uranus y Neris). A pesar de la experiencia adquirida en restauración de zonas contaminadas y medidas de protección, el accidente de Fukushima ha puesto en evidencia la necesidad de fortalecer el conocimiento de las situacio-

nes de exposición y la recuperación medioambiental.

Por ello, el OIEA estableció en 2011 un Plan de Acción [14] que incluye aspectos relevantes sobre seguridad nuclear, respuesta a emergencias y protección del público y el medio ambiente. En este contexto, el OIEA ha organizado ya cuatro reuniones internacionales de expertos; la última se celebró en Viena, del 28 de enero al 1 de febrero de 2013, y trató sobre desmantelamiento y restauración de zonas afectadas por un accidente nuclear.

En este y otros foros se han puesto de manifiesto los retos futuros que se presentan a los organismos reguladores y la comunidad internacional, entre lo que cabe destacar:

- El establecimiento de políticas y estrategias para la restauración de las áreas contaminadas tras un accidente nuclear.

- Una coordinación adecuada entre los planes de restauración y los planes de respuesta a emergencias, que facilite la aplicación de sistemas integrales para reducir el impacto radiológico a la población.

—Una definición clara de responsabilidades, ya que el análisis de las experiencias pasadas indica que el campo de actuación y las competencias de los diferentes actores no siempre han estado claras, lo que ha podido influir negativamente en las medidas adoptadas.

—Mejora de los métodos aplicados en el proceso de toma de decisiones, dada la diversidad de factores que intervienen en los planes de restauración y su complejidad, incluida la participación de los grupos de interés.

—Desarrollo de directrices sobre la implantación de estrategias para reducir

el impacto radiológico debido a la deposición de la contaminación en zonas agrícolas y residenciales.

—Desarrollo de sistemas, normas y herramientas para la gestión de productos contaminados, teniendo en cuenta el punto de vista de los productores, de los vendedores y de los consumidores.

—Establecimiento de sistemas de gestión de los residuos generados durante la restauración y aplicación de criterios de optimización en la clasificación de residuos, para resolver los problemas que conlleva establecer niveles de desclasificación muy conservadores.

—Resolución de la inconsistencia entre los valores de concentración de actividad en agua, alimentos y productos de consumo, definidos para facilitar el cumplimiento con los objetivos establecidos en términos de dosis.

—Necesidad de definir lo que se puede considerar “seguro”, aspecto importante en la comunicación con el público. El accidente de Fukushima ha vuelto a poner en evidencia la necesidad que tiene la población de ver confirmada su seguridad.

—Desarrollo de estrategias de información a la población y de participación de los grupos de interés. ©

Referencias bibliográficas

- [1] ICRP, 2007. The ICRP 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Publication 103. Ann. ICRP 37 (2–4).
- [2] IAEA, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. IAEA Safety Standards Series N° GSR Part 3 (Interim), Vienna 2011.
- [3] IAEA, International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. Safety Series N°. 115, Vienna 1996.
- [4] IAEA, Fundamental Safety Principles. Safety Standards Series N° SF-1. Vienna 2006.
- [5] IAEA, Remediation Process for Areas Affected by Past Activities and Accidents, Safety Guide Series N° WS-G.3.1. Vienna 2007.
- [6] ICRP Publication 111. Application of the Commission's Recommendations to the Protection of People Living in Long-term Contaminated Areas after a Nuclear Accident or a Radiation Emergency Annals of ICRP. Volume 39 No.3.2009. ISSN 0146-6453.
- [7] ICRP, 1991. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21 (1–3).
- [8] Remediation Following the Goiânia Accident Eliana C S Amaral et al. Instituto de Radioproteção e Dosimetria. Brazil. International Expert's Meeting on Decommissioning and Remediation after a Nuclear Accident. Vienna 2013.
- [9] *Characterization of Plutonium Contamination at Maralinga – Dosimetry and Cleanup Criteria*. IAEA-TECDO-1148. IAEA. Cooper, M.B. et al.
- [10] Historical Experience of Long-term Contaminated Areas. Annex A. ICRP Publication 111. Application of the Commission's Recommendations to the Protection of People Living in Long-term Contaminated Areas after a Nuclear Accident or a Radiation Emergency Annals of ICRP. Volume 39.
- [11] The Long-term Strategy for Environmental Remediation following the Fukushima Dai-ichi Accident. H. Hishiyama. International Expert's Meeting on Decommissioning and Remediation after a Nuclear Accident. Vienna 2013.
- [12] Ley 62/2003, de 30 de diciembre de 2003, de medidas fiscales, administrativas y de orden social, para la consecución de los objetivos de política económica de la Ley de presupuestos generales del estado para el año 2004. BOE de 31/12/2003.
- [13] Remediation after the Palomares Accident: Scientific and Social Aspects. C. Sancho Llerandi. International Expert's Meeting on Decommissioning and Remediation after a Nuclear Accident. Vienna 2013.
- [14] IAEA Action Plan on Nuclear Safety. Endorsed by General Conference. September 2011.



Toma de posesión del presidente Marti y de los consejeros Velasco, Narbona y Castelló



El presidente del Consejo de Seguridad Nuclear, Fernando Marti Scharfhausen, y los consejeros Rosario Velasco García, Fernando Castelló Boronat y Cristina Narbona Ruiz tomaron posesión de sus cargos el pasado 2 de abril de 2013, en el Salón de los Pasos Perdidos del Congreso de los Diputados, en un acto al que asistieron, entre otras muchas personalidades, el presidente de la Cámara, Jesús Posadas; el ministro de Industria, Energía y Turismo, José Manuel Soria; y el consejero del CSN, Antoni Gurguí Ferrer, cuyo mandato finaliza en

marzo de 2015. Fernando Marti y Cristina Narbona fueron nombrados presidente y consejera del CSN, respectivamente, el pasado 28 de diciembre, mediante los reales decretos 1732/2012 y 1733/2012. Por su parte, los consejeros Rosario Velasco y Fernando Castelló, que ya ejercían esta responsabilidad desde julio de 2011 y mayo de 2012, en sustitución de Francisco Fernández Moreno y Luis Gámir Casares, por jubilación, fueron nombrados en virtud de los reales decretos 137/2013 y 138/2013, de 22 de febrero. ▶

Rosario Velasco asume la vicepresidencia del CSN

En su primera reunión tras la toma de posesión, el Pleno del CSN aprobó el 3 de abril el nombramiento de la consejera Rosario Velasco García como nueva vicepresidenta del organismo. Nacida en León en 1957, Velasco es licenciada en Medicina y Cirugía por la Universidad de Valladolid y, desde 1980, es funcionaria del Sistema Sanitario Público. Durante la VIII Legislatura fue diputada y, entre otros, desempeñó los

cargos de portavoz de la ponencia evaluadora de las actividades del Consejo de Seguridad Nuclear, portavoz adjunta en la Comisión de Industria, Turismo y Comercio y ponente del Proyecto de Ley del Sector Eléctrico y de la Ley del Sector Hidrocarburos. También fue ponente de la Proposición de Ley de Reforma de la Ley del CSN, contribuyendo a la creación del Comité Asesor y la mejora de la transparencia del organismo regulador. ▶

María Luisa Rodríguez, secretaria general del Consejo

María Luisa Rodríguez López tomó posesión el 15 de abril de su cargo como secretaria general del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), en sustitución de Purificación Gutiérrez López, en un acto celebrado en la sede del organismo regulador en Madrid, y en el que estuvieron presentes todos los miembros del Pleno: el presidente del Consejo, Fernando Martí Scharfhausen, la vicepresidenta, Rosario Velasco García, y los consejeros Antoni Gurguá Ferrer, Fernando Castelló Boronat y Cristina Narbona Ruiz.

Nacida en Madrid, Rodríguez es licenciada en Derecho por la Universidad Complutense de Madrid y abogada Especializada en Derecho de las Telecomunicaciones. En 1984 se incorporó al grupo Telefónica, como letrada de los servicios jurídicos. En 1992 fue nombrada directora de la Asesoría Jurídica de Telecomunicaciones; en 1998, secretaria general de Telefónica Móviles España; y en 2007, directora de los Servicios Jurídicos de Telefónica España.



El nombramiento de la secretaria general del CSN es realizado por el Gobierno, a propuesta del ministro de Industria, Energía y Turismo, y previo informe favorable del Pleno del Consejo. A la Secretaría general le corresponde, entre otras funciones, la dirección, el impulso, la

coordinación y la supervisión de la actividad de todos los órganos del Consejo de Seguridad Nuclear, de acuerdo con las atribuciones que se detallan en el artículo 37 del Estatuto del CSN. Participa en las deliberaciones del Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear, con voz pero sin voto. ▶

Antonio Munuera y M^a Fernanda Sánchez se hacen cargo de las direcciones técnicas del CSN

El 24 de abril tomaron posesión de sus cargos los nuevos directores técnicos del Consejo de Seguridad Nuclear, Antonio Munuera Bassols, al frente de la Dirección Técnica de Seguridad Nuclear, y M^a Fernanda Sánchez Ojanguren, en la de Protección Radiológica. El acto se celebró en la sede del organismo regulador en presencia del Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear.

Antonio Munuera es licenciado en Ciencias Físicas por la Universidad Complutense de Madrid y pertenece a la Escala Superior del Cuerpo Técnico de Seguridad Nuclear y Protección Radiológica del Consejo de Seguridad Nuclear. Ingresó

en el CSN en 1985 y ha ocupado diversos puestos en la dirección técnica que ahora dirige, que es la encargada, entre otras actividades, de la evaluación, inspección y control de las instalaciones nucleares.

M^a Fernanda Sánchez Ojanguren es doctora en Química Industrial por la Universidad Complutense de Madrid y pertenece a la Escala Superior del Cuerpo Técnico de Seguridad Nuclear y Protección Radiológica del Consejo de Seguridad Nuclear, donde ingresó en 1983, procedente de la antigua Junta de Energía Nuclear. Su dirección técnica se ocupa, entre otras cosas, de la vigilancia y protección radiológica de las personas y



el medio ambiente, las instalaciones radiactivas, la gestión de emergencias y la de los residuos radiactivos de media y baja actividad. ▶

El CSN participa en la XXV Conferencia Informativa Reguladora de la NRC

Una de las citas más importantes en el calendario de los organismos reguladores nucleares de todo el mundo es la Conferencia Informativa Reguladora (RIC) que cada año, desde hace 25, organiza la Nuclear Regulatory Commission (NRC) estadounidense. La de este año se celebró en Washington el 14 de marzo y a ella asistieron, en representación del CSN, su presidente, Fernando Marti Scharfhausen y el consejero Fernando Castelló Boronat.

Al encuentro asistieron unos 3.300 participantes, de 35 países diferentes, atraídos por el intercambio de información y experiencias que caracteriza al RIC. El programa estaba dividido en sesiones técnicas, paneles de discusión y presentaciones sobre temas de actualidad para los organismos reguladores, la administración y la industria, como la gestión del conocimiento, la formación internacional, las aplicaciones basadas en el riesgo, la seguridad del combustible gastado, la operación a largo plazo y la cultura de seguridad, entre otros.

El presidente y el consejero del CSN mantuvieron entrevistas con sus homólogos estadounidenses, la presidenta de la NRC, Allison M. Macfarlane, y los consejeros Kristine L. Svinicki; George Apostolakis; William D. Magwood, IV y William C. Ostendorff. ■

Visita de las consejeras Velasco y Narbona al Hospital Ramón y Cajal

El pasado 25 de marzo, las consejeras Rosario Velasco y Cristina Narbona, acompañadas por el subdirector de Protección Radiológica Operacional, Manuel Rodríguez, visitaron las instalaciones del Hospital Universitario Ramón y Cajal de Madrid, donde fueron recibidos por el director gerente del hospital, Javier Maldonado, al frente del equipo de profesionales encargado de los servicios de Radiofísica y Protección Radiológica, Oncología Radioterápica, Radiología y Medicina Nuclear del hospital.

Durante la visita a las instalaciones comprobaron, entre otras cosas, cómo se



preparan y administran los radiofármacos; cómo se obtienen imágenes tridimensionales por SPECT y SPECT-CT, que permiten definir con gran precisión los focos de crecimiento celular; y cómo se realiza la planificación de tratamientos en radiofísica, radioquirófano, braquiterapia y radioterapia externa. ■

Conferencia Ministerial sobre Seguridad Nuclear organizada por el gobierno de Japón y el OIEA

El consejero del CSN Antoni Gurguí encabezó la delegación española que participó en la Conferencia Ministerial sobre Seguridad Nuclear que se celebró entre los días 14 y 17 de diciembre de 2012 en la prefectura de Fukushima, organizada por el gobierno de Japón y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), como continuación de la celebrada en junio de 2011 en Viena. Los participantes pudieron visitar la central de Fukushima Dai-ichi y contemplar los trabajos de remediación en los reactores destruidos, así como el alcance de los daños del *tsunami*, aún plenamente visibles.

Para Antoni Gurguí, que intervino en la sesión plenaria, resulta inaceptable para la sociedad que se produzca un accidente nuclear con emisiones significativas de material radiactivo al exterior. Por ello, aseguró que “el futuro de la energía nuclear está condicionado a la veri-



ficación de que pueda ser utilizada sin ser una amenaza para la población o el medio ambiente”. También destacó la importancia del liderazgo del OIEA en la definición de criterios internacionales sobre seguridad que sirvan a los Estados miembros en el establecimiento de legislaciones nacionales armonizadas en la prevención de accidentes y en la gestión de los mismos. Por último, recordó la necesidad de seguir estableciendo mecanismos internacionales de comunicación y cooperación entre organismos reguladores y una comunicación transparente y fiable a la población durante una crisis. ■

Principales acuerdos del Pleno

■ Plan de Acción Nacional sobre las pruebas de resistencia

En su reunión del 19 de diciembre de 2012, el Pleno del Consejo aprobó por unanimidad el Plan de Acción Nacional solicitado por ENSREG (European Nuclear Safety Regulators Group) sobre las pruebas de resistencia de las centrales nucleares, realizadas como consecuencia del accidente en la central nuclear de Fukushima, que todos los países europeos acordaron elaborar antes del 31 de diciembre de 2012.

El Plan de Acción se estructura en seis temas sobre cuatro secciones, e incluye las conclusiones del proceso de las pruebas de resistencia, las sugerencias y recomendaciones emanadas de las *peer reviews*; las recomendaciones generales del informe “Compilación de recomendaciones y sugerencias emanadas de las *peer reviews* de las pruebas de resistencia llevadas a cabo en las centrales nucleares europeas”, los resultados relevantes de la Segunda Reunión Extraordinaria de la Convención sobre Seguridad Nuclear y otras acciones ya iniciadas en España a nivel nacional.

■ Expediente sancionador a la central nuclear de Ascó

El Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear aprobó en su reunión de 21 de febrero de 2013, proponer al Ministerio de Industria, Energía y Turismo la apertura de un expediente sancionador por infracción grave al titular de las dos unidades de la central nuclear de Ascó, en aplicación de las previsiones del artículo 86, apartado b, punto tercero, de la Ley sobre Energía Nuclear. La infracción está motivada por la pérdida de la información (es decir, por no poder precisar la ubicación exacta de 230 fuentes radiactivas en desuso), no por el riesgo o por el peligro que se haya derivado del suceso.

Durante una inspección rutinaria realizada a la central nuclear de Ascó durante los días 5 y 6 de julio de 2011, el CSN detectó irregularidades en el inventario de las fuentes encapsuladas fuera de uso que se debían encontrarse en la instalación. El CSN realizó una inspección específica sobre este asunto en los días 4 y 5 de octubre de 2011 y se detectaron deficiencias relevantes en la gestión y el control de las

fuentes radiactivas en desuso, dando lugar al inicio de la propuesta de expediente sancionador. El titular está estableciendo acciones correctoras, cuya implantación está siendo supervisada por el CSN.

■ Proyecto de Real Decreto para la gestión responsable y segura del combustible nuclear gastado y los residuos radiactivos

El Pleno del Consejo, en su reunión de 24 de abril de 2013, ha acordado por unanimidad aprobar el informe del CSN sobre el proyecto de Real Decreto para la gestión responsable y segura del combustible nuclear gastado y los residuos radiactivos, una vez estudiado el texto remitido por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo.

El Real Decreto transpondrá en nuestro ordenamiento jurídico las obligaciones contenidas en la Directiva 2011/70/EURATOM, por la que se establece un marco comunitario para la gestión responsable y segura del combustible nuclear gastado y de los residuos radiactivos.

El informe del Consejo se fundamenta en los informes de la Dirección Técnica de Protección Radiológica y de la Subdirección de Asesoría Jurídica y recoge diversas observaciones al articulado con su justificación.

■ Instrucción de Seguridad IS-30, sobre requisitos del programa de protección contra incendios en centrales nucleares

El Pleno del CSN aprobó el 21 de febrero la revisión 1 de la Instrucción de Seguridad IS-30, una vez cumplidos todos los trámites previstos y remitida al Congreso de los Diputados, en cumplimiento del artículo 2.a) de la Ley de Creación del Consejo de Seguridad Nuclear. Esta instrucción tiene como objetivo requerir a los titulares de las centrales nucleares un programa de protección contra incendios y definir los criterios que debe cumplir dicho programa. La revisión obedece a la necesidad de regular las diferentes particularidades que tanto el diseño como las bases de licencia originales del sistema de protección contra incendios presentan en cada una de las diferentes centrales españolas, e incorpora las enseñanzas derivadas de la aplicación de la IS-30 y la evolución habida en los últimos tiempos dentro de la regulación en la protección contra incendios.



Información correspondiente al IV trimestre de 2012

ARCHIVO / CN ALMARAZ



Centrales nucleares

Almaraz I y II

Número de sucesos (nivel INES)

— 0 (INES 0)

Paradas no programadas

— 0

Número de inspecciones del CSN

— 10

Actividades

— La unidad I operó al 100% de potencia hasta el 4 de noviembre, en que se redujo al 99% por indisponibilidad del sistema de medida de caudal de agua de alimentación. El 10 de noviembre inició la vigesimosegunda recarga de combustible. Al finalizar el trimestre se encontraba en secuencia de arranque.

— La unidad II operó durante todo el trimestre al 100% de potencia, salvo una bajada hasta el 97% el 29 de noviembre para la sustitución de una tarjeta electrónica de un canal de protección, recuperando el 100% de potencia al día siguiente.

Ascó I y II

Número de sucesos (nivel INES)

— 5 en Ascó I (4 INES 0 y 1 INES 1)

— 2 en Ascó II (1 INES 0 y 1 INES 1)

Paradas no programadas

— 1 (Ascó 1)

Número de inspecciones del CSN

— 17

Actividades

— La unidad I estuvo operando al 100% de potencia nuclear hasta el 27 de octubre, en que inició la parada para la vigesimosegunda recarga de combustible, que terminó el 11 de diciembre. El 14 de diciembre, estando al 72% de potencia, se produjo disparo de reactor.

— La unidad II estuvo operando al 100% de potencia nuclear, realizando bajadas parciales hasta el 98,8% el 19 y el 25 de octubre. Del 8 al 12 de noviembre se realizó una parada programada para sustituir la fase T del transformador principal.

Cofrentes

Número de sucesos (nivel INES)

— 0 (INES 0)

Paradas no programadas

— 0

Número de inspecciones del CSN

— 7

Actividades

— Durante el trimestre la central estuvo funcionando de manera estable en operación a potencia. El día 1 de octubre la planta se encontraba en bajada parcial de potencia para intervención de mantenimiento en una brida de agua de alimentación, y el día 15 de diciembre se realizó una bajada parcial de potencia para cambio de secuencia de barras de control.

— El Pleno del CSN acordó informar favorablemente la revisión 27 de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento Mejoradas de la central.

Santa María de Garoña

Número de sucesos (nivel INES)

— 0 (INES 0)

Paradas no programadas

— 0

Número de inspecciones del CSN

— 1

Actividades

— Durante el trimestre la central operó a plena potencia térmica, excepto dos bajadas de potencia los días 3 y 21 de octubre. El 16 de diciembre se inició una parada programada para descargar todo el combustible desde el núcleo hasta la piscina de combustible gastado.

Trillo

Número de sucesos (nivel INES)

— 0 (INES 0)

Paradas no programadas

— 0

Número de inspecciones del CSN

— 3

Actividades

— Durante este periodo la central ha operado al 100% de potencia con norma-

lidad, salvo una bajada de potencia para probar las válvulas de turbina.

— El 22 de noviembre se realizó el simulacro anual contemplado en el Plan de Emergencia Interior.

Vandellós II

Número de sucesos (nivel INES)

— 3 (2 INES 0 y 1 INES 1)

Paradas no programadas

— 0

Número de inspecciones del CSN

— 7

Actividades

— Durante el trimestre la central se mantuvo a plena potencia, salvo las reducciones de carga para la realización de las vigilancias de equipos requeridas.

Instalaciones del ciclo y en desmantelamiento

Ciemat

Pimic-Rehabilitación

— Durante este período se ha continuado trabajando en la descontaminación de la dependencia de depósitos de la instalación IN-04 celdas calientes metalúrgicas.

Pimic-Desmantelamiento

— Se ha finalizado la excavación de los terrenos de la zona denominada El Montecillo. Se han realizado los trabajos de adecuación del área y se está realizando la caracterización radiológica final.

— También se han finalizado los trabajos de demolición de la celda F1 y la retirada de su galería perimetral perteneciente a la antigua IR-18 Planta M1.

Número de inspecciones del CSN

— 2

Centro Medioambiental de Saelices El Chico (Salamanca)

Planta Quercus

— Tras la denegación de la prórroga de la situación de cese definitivo de la planta Quercus, se ha requerido a Enusa la presentación, en el plazo de un año, de

una nueva solicitud de autorización de desmantelamiento de la planta.

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

Planta Elefante

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

Otras instalaciones mineras:

— Se ha evaluado el programa propuesto por Enusa para la vigilancia y el mantenimiento 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 beneficio de mineral de uranio de los yacimientos de Retortillo-Santidad en Salamanca. Se está evaluando la solicitud de BME de otorgamiento de la concesión de explotación de dichos yacimientos.

— Se ha informado favorablemente el permiso de investigación de minería de uranio en las provincias de Barcelona y Lleida (proyecto Calaf U) presentado por BME.

Número de inspecciones del CSN

— 3 (2 a Planta Quercus y 1 a IRA-3047)

Fábrica de Uranio de Andújar

Actividades

— El emplazamiento sigue bajo control, sin observarse incidencias. La instalación se encuentra en período de cumplimiento.

Inspecciones del CSN

— 0

El Cabril (Córdoba)

Actividades

— La instalación sigue bajo control, sin observarse 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.

— El CSN ha informado favorablemente la revisión 0 del Plan de gestión de residuos.

Número de sucesos

— 0

Número de inspecciones del CSN

— 2

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 internos de la vasija del reactor.

— En el mes de octubre, el CSN apreció favorablemente las modificaciones de diseño de los almacenes temporales de residuos radiactivos existentes en la central, así como los resultados de las pruebas de puesta en marcha de dichas modificaciones.

Número de inspecciones del CSN

— 6

Juzbado (Salamanca)

Número de sucesos (nivel INES)

— 0 (INES 0)

Actividades

— El CSN informó desfavorablemente la solicitud de modificación del punto 6 de las autorizaciones de explotación y fabricación de la fábrica, referente a notificaciones de transporte, solicitado por la entrada en vigor del Real Decreto 1308/2011 sobre protección física de las instalaciones los materiales nucleares y las fuentes radiactivas. No obstante, el CSN aprobó la solicitud de modificación del contenido de la Instrucción Técnica Complementaria (ITC) asociada a la condición 6ª citada, que sustituye a la ITC nº 8.

Número de inspecciones del CSN

— 5

Instalaciones radiactivas

Resoluciones adoptadas sobre instalaciones radiactivas (científicas, médicas, agrícolas, comerciales e industriales) del 1 de septiembre al 30 de noviembre de 2012

Informes para autorización de nuevas instalaciones

— 19

Informes para autorizaciones de modificación de instalaciones

— 73

Informes para declaración de clausura

— 13

Informes para autorización de servicios de protección radiológica

— 2

Informes para autorización de unidades técnicas de protección radiológica

— 1

Informes para autorización de servicios de dosimetría personal

— 12

Informes para autorización de retirada de material radiactivo no autorizado

— 2

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

— 5

Informes para autorización de otras actividades reguladas

— 7

Informes relativos a la aprobación de tipo de aparatos radiactivos

— 6

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

— 24

Acciones coercitivas adoptadas sobre instalaciones radiactivas (científicas, médicas, agrícolas, comerciales e industriales) del 1 de septiembre al 30 de noviembre de 2012

Apercibimientos a instalaciones radiactivas industriales

— 2

Apercibimientos a instalaciones radiactivas de investigación o docencia

— 0

Apercibimientos a instalaciones radiactivas médicas

— 0

Apercibimientos a unidades técnicas de protección radiológica

— 1

Apercibimientos a servicios de protección radiológica

— 0

Apercibimientos a instalaciones de rayos X médicos

— 1

Apercibimientos a otras actividades reguladas

— 0

Seguridad física

Actividades más relevantes

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

— Se han aprobado las propuestas de autorización de los planes de protección física de Jose Cabrera y El Cabril.

— En colaboración con el Ministerio del Interior han continuado los trabajos para la definición de la Amenaza Base de Diseño.

— Se ha publicado la Guía de Seguridad 8.2 del CSN sobre elaboración, contenido y formato de los planes de protección física de instalaciones nucleares.

Cursos

— Personal del CSN ha participado en el Primer Curso Nacional de Evaluación de Vulnerabilidades en sistemas de protección física de centrales nucleares de potencia, organizado por el Consejo de Seguridad Nuclear, celebrado en el Centro de Formación de Policía de Ávila y patrocinado por CSN, MIR y OIEA.

Número de simulacros

— 0

Número de inspecciones

— 2 (Cofrentes y Vandellós II)

Actividades internacionales

— 2º Reunión del Comité de Guías de Seguridad Física del OIEA.

— Conferencia Internacional de Reguladores Nacionales organizada por USNRC.

— Reunión anual de ENSRA.

Notificación de sucesos

Número de incidentes en instalaciones nucleares en una hora

— 3

Número de incidentes en instalaciones nucleares en 24 horas

— 14

Número de incidentes radiológicos

— 2

Hechos relevantes

— Ninguno reseñable.

Emergencias

Activación de la ORE

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

Otras actividades relevantes

— En el marco de la implantación de la Directriz Básica de Protección Civil ante Riesgos Radiológicos, el CSN ha firmado convenios de colaboración con las comunidades autónomas de Galicia, Castilla-La Mancha y Navarra.

— El CSN, en colaboración con la Subdelegación del Gobierno en Guadalajara y la central de Trillo, ha organizado e impartido el primer curso dirigido específicamente a los responsables del Penguá.

— Se han iniciado los trabajos para la revisión del Plaben en colaboración con la Dirección General de Protección Civil y Emergencias.



WWW.CSN.ES

La sede electrónica del CSN

Buena parte de las gestiones administrativas que las empresas y los particulares deban hacer ante el Consejo de Seguridad Nuclear pueden hacerse ya a través de la oficina virtual creada en 2010. Entre otras cosas, se pueden realizar consultas, descargar formularios, obtener información sobre procedimientos y legislación, registrar documentos, pagar tasas y realizar todo tipo de trámites.

<https://sede.csn.gob.es/>



Aplicaciones de las radiaciones ionizantes

En Canal Saber se puede encontrar información divulgativa sobre los aspectos científicos, tecnológicos y sociales de las áreas de actividad del CSN. En esta ocasión les proponemos un recorrido por los variados usos que tienen las radiaciones ionizantes en la industria, la medicina, la investigación, la agricultura y la energía. Para entender estas aplicaciones de forma rápida y visual se puede seguir la serie de infografías divulgativas accesibles desde este link:

https://www.csn.es/index.php?option=com_content&view=article&id=11953%3Ausos-de-las-radiaciones&catid=46%3AInfografías&Itemid=62&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



Puede acceder a los anteriores números de **Alfa, revista de seguridad nuclear y protección radiológica** en:

http://www.csn.es/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=72&Itemid=157&lang=es



PUBLICACIONES



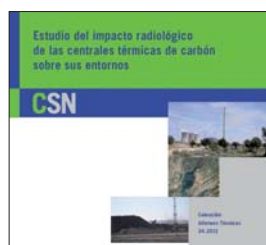
Guía de Seguridad 11.3
Metodología para la
evaluación del impacto
radiológico de las industrias
NORM



**Estudio de la exposición
debida a la utilización de torio
en industrias no radiológicas**
Colección Informes Técnicos
36.2013



Guía de Seguridad 11.4
Metodología para la
evaluación de la exposición
al radón en los lugares de
trabajo



**Estudio sobre el impacto de
las centrales térmicas de
carbón sobre sus entornos**
Colección Informes Técnicos
34.2012



**Red de estaciones
automáticas de vigilancia
radiológica ambiental (REA)
del CSN**
Operación y resultados
Años 2010 y 2011
Colección Informes Técnicos
38.2013

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

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

