

# RADIOPROTECCIÓN

REVISTA DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA



20<sup>o</sup> ANIVERSARIO

## RADIOECOLOGÍA



### ▲ Entrevista:

#### **François Bréchnac**

*Presidente de la Unión Internacional de Radioecología (IUR)*

- ▲ **Síntesis histórica de las actividades desarrolladas en el Ciemat en el campo de la radioecología**
- ▲ **Las jornadas de calidad en el control de la radiactividad ambiental y su papel en los programas de vigilancia**
- ▲ **Estudios radioecológicos en el Centro Nacional de Aceleradores basados en el uso de la Espectrometría de Masas con Acelerador (AMS)**
- ▲ **Una invitación para contribuir a la agenda estratégica de investigación en radioecología**

**Directora**  
Ángeles Sánchez

**Coordinador**  
Borja Bravo

## Comité de Redacción

Teresa Durán  
Cristina Garrido  
Rosa Gilarranz  
José Gutiérrez  
Sofía Luque  
Alegria Montoro  
Matilde Pelegrí  
Javier Pifarré  
José Ribera  
Borja Rosell  
Inmaculada Sierra  
M<sup>a</sup> Luisa Tormo  
María Ángeles Trillo  
Fernando Usera

## Coordinador de la página electrónica

Juan Carlos Mora

## Comité Científico

Presidente: José Gutiérrez

Ignacio Hernando  
Xavier Ortega  
Teresa Ortiz  
Eduardo Sollet  
Alejandro Úbeda

## Realización, Publicidad y Edición:

SENDA EDITORIAL, S.A.

Directora: Matilde Pelegrí

Isla de Saipán, 47 - 28035 Madrid  
Tel.: 91 373 47 50 - Fax: 91 316 91 77  
Correo electrónico: info@gruposenda.net

**Imprime:** IMGRAF, S.L.

**Depósito Legal:** M-17158-1993 ISSN: 1133-1747

La revista de la SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA es una publicación técnica y plural que puede coincidir con las opiniones de los que en ella colaboran, aunque no las comparta necesariamente.

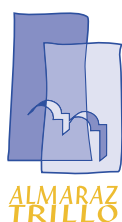


# S U M A R I O

• Editorial	<b>3</b>
• Entrevista	<b>4</b>
François BRÉCHIGNAC <i>Presidente de la Unión Internacional de Radioecología (IUR)</i>	
• Noticias	
- de la SEPR	11
- de Radioecología	62
- de España	69
- del Mundo	71
• Colaboraciones	<b>12</b>
- Síntesis histórica de las actividades desarrolladas en el Ciemat en el campo de la radioecología <i>José Gutiérrez, Beatriz Robles, Almudena Real y Juan Carlos Mora</i>	
- Las jornadas de calidad en el control de la radiactividad ambiental y su papel en los programas de vigilancia <i>Lucila M<sup>a</sup> Ramos</i>	18
- Estudios radioecológicos en el Centro Nacional de Aceleradores basados en el uso de la Espectrometría de Masas con Acelerador (AMS) <i>E. Chamizo, J.M. López-Gutiérrez, J.M. Gómez-Guzmán, F.J. Santos, M. García-León y R. García-Tenorio</i>	22
- Una invitación para contribuir a la agenda estratégica de investigación en radioecología <i>T.G. Hinton, J. Garnier-Laplace, H. Vandenhove, M. Dowdall, C. Adam-Guillermin, F. Alonzo, C. Barnett, K. Beaugelin-Seiller, N.A. Beresford, C. Bradshaw, J. Brown, F. Eyrolle, L. Fevrier, J.C. Gariel, R. Gilbin, T. Hertel-Aasó, N. Horemans, B.J. Howard, T. Ikäheimonen, J.C. Mora, D. Oughtonó, A. Real, B. Salbu, M. Simon-Cornu, M. Steiner, L. Sweeck y J. Vives i Batlle</i>	29
• Publicaciones	<b>76</b>
• Convocatorias y Cursos	<b>77</b>
• Índice de RADIOPROTECCIÓN 2012	<b>79</b>

La SEPR permite la reproducción en otros medios de los resúmenes de los artículos publicados en Radioprotección, siempre que se cite al principio del texto del resumen reproducido su procedencia y se adjunte un enlace a la portada del sitio web [www.sepr.es](http://www.sepr.es), así como también el nombre del autor y la fecha de publicación. Queda prohibida cualquier reproducción o copia, distribución o publicación, de cualquier clase del contenido de la información publicada en la revista sin autorización previa y por escrito de la SEPR. La reproducción, copia, distribución, transformación, puesta a disposición del público, y cualquier otra actividad que se pueda realizar con la información contenida en la revista, así como con su diseño y la selección y forma de presentación de los materiales incluidos en la misma cualquiera que fuera su finalidad y el medio utilizado para ello, sin la autorización expresa de la SEPR o de su legítimo autor, quedan prohibidos.

# Socios colaboradores de la SEPR



# Editorial

“Debes saber escoger la oportunidad”. Así reza una de las frases de Pitágo de Mitilene, estadista griego del s. VII a. C., considerado como uno de los siete sabios de Grecia. Siguiendo ese consejo, hemos escogido este momento para la publicación de un número monográfico de nuestra revista sobre radioecología, aprovechando la oportunidad que brindan hechos recientes como la creación de la asociación “Alianza Europea de Radioecología” con participación española, de la que se da rendida cuenta en las páginas siguientes, y la inclusión en el plan de trabajo del Programa Marco de Euratom para 2013 de un tema\* relativo a investigación en radioecología, en el que se acaba de lanzar una propuesta multinacional, que cuenta también con participación española.

Siempre se ha tenido claro el papel de la radioecología como ciencia de apoyo a la protección radiológica y, por ello, la adquisición de nuevo conocimiento científico en este campo es importante para la mejora de dicha protección, como también lo es a la hora de responder adecuadamente a la preocupación e interés de la sociedad en relación con la presencia y el comportamiento de la radiactividad en el medio. Se debe insistir, por tanto, en

*\*II.2.3.4: National research activities in other areas.  
Topic Fission-2013-3.4.1: Support to the strengthening of pan-European research initiatives on the impact of radiation on the environment, including the food chain and the protection of non-human species*

la potenciación de la investigación nacional al respecto para que pueda ser capaz de integrarse en un marco más amplio que la refuerce, aprovechando recursos, capacidades e infraestructuras comunes en el espacio europeo y que logre una puesta en común de objetivos y prioridades. El próximo Programa Marco europeo, el llamado Horizonte 2020, camina en esta dirección de coordinación, programación conjunta y búsqueda de sinergias mediante la participación en amplias plataformas temáticas, como la protección radiológica, que potencie los respectivos programas nacionales de los países miembros.

Necesitamos, por tanto, un marco nacional que nos sirva de referente para permitir y avalar nuestra participación en los consorcios de investigación multinacionales. Aunque resulte obvio señalarlo, sepan nuestras autoridades y nuestros gestores que, desde aquí, empeñamos la total disposición y entusiasmo de la SEPR para colaborar en el logro de ese marco global en protección radiológica, bajo la forma de plan, plataforma o cualquier otro instrumento adecuado de alcance nacional, sin el cual la integración eficaz de nuestra disciplina en el espacio de investigación europeo será una quimera. Esa y no otra será nuestra verdadera oportunidad. El tiempo, “lo más sabio de todo, porque todo lo esclarece”, como ya sentenció Tales de Mileto, dirá si supimos aprovecharla.

JOSE GUTIÉRREZ

Consejero de I+D, Ciemat

Presidente del Comité Científico de RADIOPROTECCIÓN



## Junta Directiva

Presidenta: M<sup>a</sup> Luisa España  
Vicepresidente: Eduardo Gallego  
Secretaria General: Beatriz Robles  
Tesorero: Alejandro Úbeda  
Vocales: Óscar González, Borja Rosell, Carmen Rueda, Pedro Ruiz y Rosario Salas

## Comisión de Actividades Científicas

Presidente: Eduardo Gallego  
Secretaria: Isabel Villanueva  
Vocales: Josep Baró, Pío Carmena, Carlos Enríquez, Rosa Gilarranz, Margarita Herranz, Carmen Rueda, Pedro Ruiz, Ángeles Sánchez y Alejandro Úbeda

## Comisión de Asuntos Económicos y Financieros

Presidente: Alejandro Úbeda  
Vicepresidente: Eduardo Gallego  
Vocales: Pío Carmena, Cristina Correa, Beatriz Robles, Rosario Salas y Carmen Vallejo

## Comisión de Asuntos Institucionales

Presidenta: M<sup>a</sup> Luisa España  
Secretario: Eduardo Gallego  
Vocales: Leopoldo Arranz, David Cancio, Pío Carmena, Pedro Carboneras, Manuel Fernández, José Gutiérrez, Ignacio Hernando, Xavier Ortega, Juan José Peña, Manuel Rodríguez, Rafael Ruiz Cruces y Eduardo Sollet

## Secretaría Técnica

Isla de Saipán, 47  
28035 Madrid  
Tel.: 91 373 47 50  
Fax: 91 316 91 77  
Correo electrónico: secretaria@sepr.es

# FRANÇOIS BRÉCHIGNAC

Presidente de la Unión Internacional de Radioecología (IUR)

El Dr. François Bréchnignac es actualmente subdirector científico del IRSN (Instituto Francés de Protección Radiológica y Seguridad Nuclear). Posee el título de ingeniero agrónomo (Instituto Politécnico de Toulouse) y el título de doctor en fisiología vegetal (Universidad de París).

Comenzó su carrera como investigador en la CEA (Comisión de Energía Atómica Francesa) y la Universidad de California (Davis, EE.UU.) realizando estudios sobre los aspectos fundamentales de la fotosíntesis (1981-1987).

Posteriormente, trabajó en la Agencia Espacial Europea, en el desarrollo de sistemas ecológicos cerrados de apoyo a la vida en condiciones de microgravedad (1988-1994). En 1995 vuelve a la CEA, donde comenzó a trabajar en radioecología y ocupó varios puestos de responsabilidad en investigación. En la última década ha estado comprometido con la supervisión del esfuerzo realizado por la comunidad de radioecología para publicar sobre el tema, como editor asociado del *Journal of Environmental Radioactivity*. Es presidente de la Unión Internacional de Radioecología desde 2007 y miembro del Comité 5 de la ICRP.



## LA RADIOECOLOGÍA

Teniendo en cuenta que no hay una definición única de radioecología, desde su punto de vista ¿Cuál sería la definición más apropiada?

La radioecología surgió en la década de 1950 de forma simultánea con el uso civil de la energía nuclear, para ayudar a evaluar el riesgo inducido por la radiactividad ambiental y sus consecuencias tanto en el hombre como en el medioambiente.

Es una rama científica altamente multidisciplinaria de las ciencias ambientales, que reúne una variedad de disciplinas como la biología, la química, la fisiología, la eco-

logía, la biogeoquímica, la geofísica, la ecotoxicología, las matemáticas (modelos, estadística), la metrología, ... entre otras.

Una posible definición sería: "Radioecología es una rama de las ciencias ambientales que reúne aproximaciones multidisciplinares para describir, comprender y predecir: 1) el destino de la radiactividad (artificial y natural) en sistemas medioambientales (ecológicos); 2) su impacto en el hombre a través del medioambiente y en el propio medioambiente (biota, ecosistemas) proporcionando información para la evaluación del riesgo humano y ecológico; 3) los procesos biogeoquímicos mediante estudios con trazadores radiactivos".



## ¿Cuál considera usted que es el principal papel científico de la radioecología?

La radioecología tiene tanto un papel científico, como operacional. El principal papel científico es el de avanzar en el conocimiento y la comprensión de los procesos que gobiernan la **transferencia de radionucleidos** en el medioambiente (medios abióticos y sistemas vivos) y de los posteriores efectos de la radiación en la vida (desde moléculas orgánicas y organismos hasta los ecosistemas). Ambos son igualmente necesarios para la evaluación de riesgos en el marco de la salud humana y la protección del medioambiente, y ambos siguen sufriendo de importantes incertidumbres. Este papel es paralelo a aproximaciones muy similares llevadas a cabo para hacer frente a otros contaminantes (metales pesados, pesticidas, residuos de medicamentos, contaminantes orgánicos, etc.).

Históricamente, se ha dedicado más atención a la cuestión de la transferencia, debido a que se dio preferencia a una visión **antropocéntrica** donde el medioambiente se consideraba, de manera restrictiva, como un simple vector de la transferencia radiactiva desde una fuente hasta el hombre. Actualmente, está en marcha un reequilibrio de los esfuerzos para mejorar también el conocimiento en el tema de los efectos. Esto se ilustra con los esfuerzos que están en marcha dirigidos a la protección del medioambiente frente a la radiación, como son la visión **biocéntrica** centrada en los efectos en organismos no humanos, desarrollada por la ICRP, y la visión **ecocéntrica** centrada en las poblaciones y los ecosistemas para tener en cuenta las interacciones entre especies (incluido el hombre) y la biodiversidad, como recomendó recientemente la IUR.

Sin embargo, no podemos olvidarnos de otros dos papeles importantes de la radioecología. El primero de ellos es apoyar a otras ciencias ambientales mediante las técnicas de trazadores radiactivos, que constituyen un método muy poderoso para investigar aspectos como la circulación marina y atmosférica a gran escala, la datación de materiales a pequeña y gran escala. El segundo hace hincapié en el papel operacional de la radioecología, como el desarrollo de conceptos y herramientas adecuadas

para la preparación de emergencias, y para identificar y desarrollar soluciones técnicas innovadoras para la remediación y descontaminación en las situaciones post-accidente.

## Usted lleva muchos años trabajando en el área de la radioecología. En su opinión ¿cómo ha evolucionado la radioecología en las últimas décadas?

Durante sus 50 ó 60 años de existencia, la evolución histórica de la radioecología y de sus actividades ha tenido lugar en cuatro fases sucesivas:

La **1ª fase** corresponde a la de **su nacimiento** en la que, antes del trágico suceso de Chernobyl ocurrido en abril de 1986, los fundadores de la radioecología promovieron una amplia gama de investigaciones que iban desde el estudio de las vías de transferencia al hombre, hasta los efectos de la radiación en diversos animales, plantas y ecosistemas completos. Estas investigaciones, sin embargo, concernían principalmente a las irradiaciones externas a dosis más bien altas, como ilustran los distintos estudios experimentales de irradiación a gran escala llevados a cabo en EE.UU., Canadá y Europa, que utilizaban fuentes gamma de radiación, de larga duración, situadas en sistemas naturales.

La **2ª fase** es la que ya **afrenta problemas de salud y medioambientales reales** y fue motivada por el accidente de Chernobyl que influyó de manera significativa en la radioecología, inicialmente con un fuerte estímulo debido a que atrajo una gran cantidad de fondos de fuentes internacionales (europeas en particular) y, más tarde, con un declive, asociado, esencialmente, a tendencias políticas con respecto a la energía nuclear. Chernobyl impulsó fuertemente la I+D para cubrir las necesidades de radioprotección de las personas (a través de las diferentes rutas de transferencia de los radionucleidos) ante la urgencia de evaluar el impacto en la salud humana consecuencia de la contaminación radiactiva (esencialmente  $^{137}\text{Cs}$  y  $^{90}\text{Sr}$ ) esparcida por extensos territorios. Durante más de una década, esto llevó a que se realizaran grandes esfuerzos para modelizar la transferencia de radionucleidos en el medioambiente hacia el hombre, a través de la ingestión, la inhalación o por irradiación externa, a expensas sin embargo

de los estudios radioecotoxicológicos en especies no humanas y sus ecosistemas relacionados, a los que se asignó una prioridad menor durante este periodo.

A continuación, durante la década de los 90 hasta finales del siglo XX, se produjo un enérgico debate político, prácticamente en todo el mundo, poniendo en duda la aceptación de la energía atómica por parte de la población y considerando la utilidad de nuevos desarrollos para hacer frente a las crecientes necesidades energéticas del planeta. Algunos países, esencialmente en Europa, decidieron retirarse de la posterior utilización de la tecnología de la energía nuclear, debido al énfasis puesto en su peligrosidad. Una de las consecuencias principales para estos países ha sido que muchos de sus grupos de investigación, y sus correspondientes capacidades en radioecología, se han desarticulado. Esta desagregación de grupos de investigación sin masa crítica llevó a que algunos observadores se cuestionaran el futuro de la radioecología, bien como disciplina científica (su "último aliento", como afirmó un periodista científico de la revista *Science*, en 2002), bien como capacidad experimental única en relación con las actividades paralelas de energía atómica (Stone, 2002). Esta 2ª fase ha estado dominada, como ya he dicho por una visión antropocéntrica de la radioecología.

La **3ª fase** se corresponde con el **crecimiento de la conciencia de la protección de medioambiente en todo el mundo**. A comienzos del siglo XXI, se ha observado un movimiento mundial para volver a utilizar sistemas nucleares de producción de energía. Este movimiento ha estado impulsado por el hecho de que se preste mayor atención a los requisitos para el desarrollo sostenible, a una mayor conciencia de la perturbación climática promovida por la quema de combustibles fósiles y a un aumento de la presión económica debido al alza continuado de los precios del petróleo.

Además, el contexto general de la protección del medioambiente impulsado por las recientes preocupaciones sociales, arraigadas a varias cuestiones ambientales críticas de gran escala, tales como el cambio climático y la pérdida de biodiversidad, ha tenido su impacto en las prioridades radioecológicas dirigiéndolas hacia una mejor evaluación





Miembros del Consejo Ejecutivo de la IUR. De derecha a izquierda, en la parte de atrás François Bréchignac y José Marcus Godoy, en la parte delantera: Rudolf Alexakhin, Per Strand y Deborah Oughton (Consejo de Administración celebrado en Cadarache, Francia, 30-31 de agosto de 2007).

de los estudios de efectos en la naturaleza y las metodologías necesarias para evaluar los riesgos potenciales. Es en este contexto en el que la radioecología comenzó a moverse hacia la cuestión de la protección radiológica del medioambiente.

Un elemento importante fue reconsiderar el paradigma que durante mucho tiempo sostuvo la ICRP en el pasado, que simplemente subordinaba la protección del medioambiente a la de los humanos, debido al hecho de que el *Homo sapiens* se encontraba entre las especies más radiosensibles. Después de la creación del Comité 5 de la ICRP, en 2005, para proponer y desarrollar un sistema para la protección radiológica de la biota no humana, una serie de institutos, universidades y organismos internacionales han contribuido a la elaboración de un concepto metodológico basado en "organismos de referencia", homólogo al concepto "hombre de referencia" en la protección radiológica del hombre. Este concepto se mueve hacia la biota no humana como blanco de la protección, abandonando por lo tanto el anterior antropocentrismo, para adoptar una visión **biocéntrica** en la protección del medioambiente.

La **4ª fase**, en la que actualmente nos encontramos, es la de **afrontar de nuevo un impacto ecológico a gran**

#### **escala (accidente de Fukushima).**

Al final de la 3ª fase, en los primeros años del decenio de 2010, una parte cada vez mayor de la comunidad de radioecología (liderada por la IUR), haciendo hincapié en las carencias derivadas de un sistema de protección limitada a los organismos individuales, como es el caso de la aproximación del "organismo de referencia", propuso mejorar la situación ampliando el sistema hacia un "enfoque de ecosistema" que ofrece una visión más **ecocéntrica** del medioambiente.

Es en este contexto cuando ocurre el accidente de Fukushima en marzo de 2011. Dicho accidente ha puesto de manifiesto que la evaluación correcta de las consecuencias a largo plazo sigue siendo un tema crucial que requiere dedicar una atención continua al conocimiento y a la experiencia en radioecología. Además, también evidenció que la correcta interpretación de las consecuencias ecológicas de la propagación de la contaminación radiactiva de Chernobyl sigue siendo muy controvertida y, por lo tanto, es difícil utilizar esa información para anticipar las consecuencias del accidente de Fukushima. En un contexto más general, también somos conscientes de que el uso sostenible de la energía nuclear y de la radiactividad para fines

civiles debe ir ligado a una aceptación social. Esta aceptación social, a su vez, depende en gran medida de la transparencia en la explicación de los riesgos y de la demostración de que se está dedicando un esfuerzo continuo a lograr el conocimiento y la comprensión adecuados y a reducir las incertidumbres. Esta 4ª fase está ahora comenzando y su construcción la tenemos por delante y nos corresponde a todos.

**La radioecología, como bien nos ha explicado anteriormente, ha pasado por distintas fases en las que los temas prioritarios también han variado. Desde su perspectiva ¿cuáles son los "temas más candentes" en radioecología hoy en día?**

Sin duda, un tema muy candente en radioecología, reforzado por el accidente de Fukushima, es el impacto ecológico a largo plazo de niveles bajos y crónicos de radiación en escenarios medioambientales realistas contaminados, que también incluyan otros factores de estrés adicionales.

Esto requiere tanto un desarrollo hacia la total madurez de los métodos de evaluación de riesgo ecológico (como se mencionó anteriormente) que dará acceso a la anticipación, como el desarrollo de una base científica de apoyo sobre los efectos de la radiación en diferentes biotas para explorar la diversidad de los procesos que subyacen a la bioacumulación, la radiosensibilidad, la propagación de los efectos a través de toda la escala de organización biológica (desde las moléculas hasta los ecosistemas) y la transferencia, de manera más general. Cabe mencionar aquí que incentivar la ciencia básica sobre los efectos de la radiación en la biota no humana con vistas a desarrollar un sistema de protección del medioambiente, es probable que proporcione claves importantes para mejorar también la protección radiológica humana. Ambos campos necesitan de intercambio de ideas y trabajo común conjunto.

Es de destacar que el accidente de Fukushima también lleva a que se aborde mejor la radioecología marina y a desarrollar soluciones técnicas para la remediación y la descontaminación, ya que a pesar de la gran inversión en I+D post-Chernobyl no se ha logrado el progreso necesario en estos temas.



## LA UNIÓN INTERNACIONAL DE RADIOECOLOGÍA

Para aquellos que no están familiarizados con la Unión Internacional de Radioecología (IUR) ¿Nos podría hablar un poco de los objetivos, sus miembros y la organización?

La Unión Internacional de Radioecología (IUR) fue fundada en 1977, registrada como una asociación internacional bajo las leyes belgas, y declarada como una organización científica no política y sin ánimo de lucro, dedicada al desarrollo mundial de la radioecología.

Durante su historia, la Unión ha atraído a algunos miles de científicos y actualmente reúne cerca de 600 miembros activos de los cinco continentes. La actuación de la IUR se desarrolla bajo tres características principales: independencia, democracia y trabajo voluntario. La comunidad científica reunida bajo la bandera de la IUR realmente demuestra estar comprometida en el desarrollo de la radioecología. La Junta de Consejo es elegida por mandatos de cuatro años y toma todas las decisiones importantes durante la Asamblea General convocada anualmente. Consta de 12 miembros. Los primeros seis son elegidos de entre los miembros en todo el mundo y entre ellos se cuenta el Consejo Ejecutivo representado por el presidente, el vicepresidente, el secretario general, el tesorero, que son los que se encargan del funcionamiento del día a día de la Unión. Los seis miembros adicionales, llamados "coordinadores regionales", son elegidos cada uno desde su región correspondiente de entre seis regiones que representan a todo el mundo. Dada su condición de independiente, la financiación de la IUR se limita esencialmente a la cuota anual de los socios fijada en 40 euros (o el equivalente en dólares americanos), y al patrocinio de las organizaciones de apoyo que pagan una cuota institucional. La financiación está dirigida a apoyar las acciones en radioecología (como se detalla más adelante), con un énfasis especial en apoyar las iniciativas y logros de los jóvenes investigadores.

El objetivo de la Unión es promover la radioecología, en todas sus dimensiones, desde las actividades de investigación hasta el asesoramiento experto y la gestión operativa. Esencialmente centrada en los elementos radiactivos, siendo la



*Miembros de la Junta de IUR en la Asamblea General celebrada durante la Conferencia Internacional sobre la radiactividad en el medioambiente (Mónaco, 1-5 de septiembre de 2002). De izquierda a derecha: Per Strand, Deborah Oughton, François Bréchignac, George Hunter, Gennady Polikarpov, Yongguan Zhu.*

radiactividad potencialmente tóxica para la vida, la radioecología contribuye al esfuerzo mundial que continuamente se está realizando para el desarrollo sostenible de las actividades nucleares, especialmente el uso civil de la energía nuclear.

El papel primordial de la Unión es el de perpetuar un "almacén de pensamiento" en temas de radioecología, mediante el mantenimiento de una red de científicos y profesionales. La IUR es actualmente la única organización capaz de aglutinar a nivel mundial a todos los científicos con interés en la radioecología. La Unión realiza esfuerzos especiales para vincular todas las redes regionales existentes y emergentes (Europa, Asia, América, ...) a través de acuerdos institucionales formales, así como con ONG afines como la Setac que trata los contaminantes químicos.

Por tanto, las actividades de la Unión se basan en cuatro instrumentos principales: (1) desarrollo conceptual y de aplicaciones (operativo) en grupos de trabajo específicos. Se movilizan y crean estos grupos en respuesta a diversas cuestiones contextuales (noticias diarias, necesidades, descubrimientos recientes, la creatividad que surge de un grupo de socios, ...)

que permiten alcanzar una masa crítica sobre un tema determinado, fomentando que se mantengan a largo plazo. (2) se organizan congresos, jornadas, reuniones científicas, talleres y seminarios, a veces en colaboración con otros socios, para revisar los últimos avances del conocimiento y promover debates que fomenten que se alcance consenso o se especifiquen problemas que hay que resolver de manera prioritaria. (3) se realizan actividades de enseñanza, dirigidas a estimular a jóvenes talentos y a transmitir el conocimiento de los científicos con más experiencia, complementadas además con la concesión de los premios "Jóvenes Investigadores" y "V.I. Vernadsky", creados en 2004. (4) la vida diaria de la Unión se mantiene con el apoyo de su sitio web ([www.iur-uir.org](http://www.iur-uir.org)), que representa tanto una herramienta de difusión (boletines, publicaciones, anuncio de conferencias, ...) como una herramienta para el intercambio de información entre los miembros.

### Dentro de los grupos de trabajo de la IUR ¿cuáles destacarías?

Se crea un grupo de trabajo cuando un grupo de radioecólogos, generalmente



reunidos con el incentivo de un líder, alcanza una masa crítica y está dispuesta a promover una "tormenta de ideas" y el desarrollo de un tema innovador. Entre las organizaciones internacionales que se ocupan de la radiactividad y el medioambiente, la IUR se sitúa deliberadamente al frente del lado científico, y este es el motivo de que muchas cuestiones importantes de radioecología, que ahora se abordan a nivel internacional, en realidad comenzaron con una idea innovadora que germinó en un grupo de trabajo de la IUR. Este es claramente el caso de dos grupos de trabajo actualmente en marcha sobre "La protección del medioambiente" y el "Contexto de multicontaminantes".

Los grupos de trabajo creados más recientemente, como son el de "Métodos no letales para radioecología" y el de "Aproximación de ecosistema", son ejemplos de las tendencias de futuro, y es muy probable que se conviertan en cuestiones importantes para la radioecología del mañana.

Mientras tanto, otros grupos de trabajo como los de "Especiación", "Las regiones Ártica y Antártica" y "La radioecología y los residuos radiactivos", funcionan de manera más o menos continuada y también contribuyen a mantener un espíritu innovador en estos temas concretos.

### Como ha mencionado anteriormente en esta entrevista, la Unión Internacional de Radioecología fue creada en el año 1977. ¿Cómo ha evolucionado la IUR desde su creación?

La IUR es ahora una dama de más de 30 años de edad. Ha pasado por varios periodos a lo largo de su vida, algunos de mucho esplendor, otros con más dificultades. Ha sido liderada por distintos presidentes y juntas de Consejo, y ha acumulado mucha experiencia. Ocasionalmente, ha sufrido diversas presiones e incluso ha sido a veces declarada como "a punto de desaparecer", pero siempre ha sobrevivido y todavía hoy posee una fuerte motivación y la voluntad de una gran comunidad de científicos de todo el mundo, comprometidos a través de su trabajo voluntario, lo que es una demostración muy sólida de la fortaleza de sus cimientos.

Como actual presidente de IUR, y como miembro individual de la misma que

contribuye a su desarrollo, espero encontrar el tiempo y los recursos necesarios para montar un grupo de radioecólogos senior, incluyendo aquellos que desempeñaron responsabilidades importantes en la Unión, con el objetivo de publicar la historia singular de nuestra organización, que acompañe y documente el desarrollo seguro de las actividades nucleares desde hace más de 30 años, independientemente de los intereses nacionales o industriales particulares.

### Desde su punto de vista, ¿cuáles son las principales ventajas de tener una organización como la IU? ¿Cómo contribuye la IUR a la radioecología?

El primer beneficio de la IUR emerge del número y las capacidades de sus socios, que permite estimular la coordinación y la creación de redes a escala mundial. Esto incluye la coordinación con otras organizaciones internacionales, como el OIEA, el Unsear, la Comisión Europea, la ICRP, la NEA, etc., con las que en la mayoría de los casos la Unión tiene acuerdos formales.

Otra ventaja importante surge de su experiencia científica, basada en la voluntad de construir un conocimiento avanzado sobre las relaciones entre la radiación ionizante y el medioambiente, como un requisito previo para un desarrollo posterior y una mayor aceptación del uso civil de la energía nuclear. Abarcando de manera conjunta la radiactividad, el medioambiente, la salud y la evaluación del riesgo, se mantiene una posición estratégica y una integración notable de capacidades para reunir masas críticas en innovación científica y visión prospectiva.

Finalmente, hay que recordar que la IUR constituye la única red independiente de radioecólogos libre de cualquier influencia movida por intereses particulares. Su posición y las direcciones que promueve representan por tanto valiosas aportaciones para la sociedad, que quiere estar correctamente informada sobre los riesgos asociados a las técnicas y a la industria nuclear.

### La IUR ha realizado recientemente una consulta pública, a través de su página electrónica, sobre cómo priorizar las futuras actividades de investigación en radioecología. La respuesta de la

### comunidad de radioecología ha sido muy importante. ¿Podría comentar los principales resultados y conclusiones obtenidos en esta consulta?

Esta consulta ha sido creada en respuesta a la solicitud de la Alianza Europea de Radioecología para que la IUR proporcionara su opinión sobre la agenda estratégica de investigación (SRA) que había sido elaborada por la Red de Excelencia Europea STAR. Dado que ya se había realizado una consulta previa sobre los tres temas prioritarios y sus 15 líneas de investigación identificadas en la SRA, la IUR consideró una perspectiva diferente con objeto de proporcionar a la Alianza nuevas aportaciones de utilidad para el proceso de establecer prioridades.

Por lo tanto, el cuestionario de la IUR se centró en aspectos fundamentales relativos a la posición de la radioecología respecto a sus principales hilos conductores: la ciencia de protección radiológica, las ciencias medioambientales y la sociedad en general. Para cada cuestión se sugería una amplia gama de respuestas posibles y se pidió a los profesionales interesados en la radioecología que clasificaran estas respuestas en orden de mayor a menor importancia. Enviamos este cuestionario a toda la comunidad, en todo el mundo. Haciendo uso de varios acuerdos de colaboración firmados por la IUR con otras asociaciones internacionales de radioecología y radiactividad ambiental, pudimos conseguir un conjunto muy importante de respuestas a pesar de la corta duración de la consulta (menos de tres semanas), logrando 170 respuestas de 58 países, un éxito que ilustra el interés que la IUR despierta en la comunidad. A partir de los resultados de esta encuesta, surge una visión sobre las líneas más prioritarias que deberían favorecerse para construir una estrategia de futuro de la radioecología.

Las respuestas relacionadas con las prioridades más altas fueron:

- La protección del medioambiente deberá evolucionar en coherencia con el sistema de protección radiológica de las personas y con otros sistemas de protección del medioambiente, con la misma importancia.
- Los blancos de la protección radiológica más prioritarios son los individuos humanos, los ecosistemas y las poblaciones de animales y plantas.



- Las aproximaciones científicas de radioecología más prioritarias deben situarse en la inferencia ecológica (centrada en los ecosistemas), los estudios de trazadores y los ciclos biogeoquímicos.
- Las contribuciones de la radioecología con mayor importancia para la sociedad son las que ayudan a mejorar la comprensión de los procesos (transferencias, efectos, interacciones). Otras aportaciones (regulación y herramientas de evaluación, las predicciones para la evaluación de riesgos ambientales, las observaciones *in situ*) también son importantes, todas por igual.

De esta consulta se desprende que en gran medida la comunidad de radioecología apunta más hacia el ecocentrismo en el futuro que con anterioridad. Mientras tanto, la comunidad no se olvida de la importancia de su gran contribución "medioambiental" a la protección radiológica humana. Un trabajo adicional a realizar en el futuro, para aprovechar las respuestas obtenidas al cuestionario, será examinar si existen distintos puntos de vista sobre las prioridades dependiendo de la región del mundo considerada.

## EL FUTURO DE LA RADIOECOLOGÍA Y EL PAPEL DE LA IUR

Como usted bien sabe, recientemente se ha creado la Alianza Europea en Radioecología. ¿Cuál será la relación entre la Alianza y la IUR en el futuro? ¿Considera que existen sinergias y/o

### complementariedades entre ambas organizaciones?

No es el papel de la Unión hablar en nombre de la Alianza, pero creo que los dirigentes de la Alianza están convencidos de que la IUR, la red de científicos más antigua en este tema, puede ayudar a mantener una buena conexión con el resto del mundo no-europeo. En realidad, la consulta de la IUR obtuvo una puntuación del 99% de la comunidad recomendando que la Unión "debería coordinar a nivel mundial otras iniciativas continentales, tales como garantizar un desarrollo optimizado y equilibrado de los esfuerzos". La IUR por su parte apoya plenamente esta iniciativa europea que tiene un alto potencial para estimular la investigación en radioecología en Europa, y más allá.

**De cara al futuro, la UE está preparando el programa Horizonte 2020. En el marco global previsto para la protección radiológica, desde su punto de vista, ¿cuál sería el papel de la radioecología en Horizonte 2020? ¿Qué riesgos y/o beneficios (si los hubiera) pueden surgir para la radioecología?**

Ya he expresado con anterioridad mi punto de vista sobre esta cuestión, cuando impartí la conferencia inaugural en la última conferencia internacional ICRR en Hamilton, Canadá en 2011. El mayor desafío para la comunidad científica de la IUR, acentuado por el accidente de Fukushima, es alcanzar su madurez como disciplina científica. Algunas de las preguntas planteadas son las siguientes. ¿Es su nivel de excelencia adecuado para

describir, explicar, anticipar y controlar los riesgos ambientales apropiadamente? ¿Tenemos las respuestas correctas y óptimas para los muchos problemas, inmediatos y a largo plazo, a los que se enfrentan nuestros colegas japoneses en relación a la contaminación esparcida sobre los territorios y que afecta a la población? ¿Es nuestra comprensión científica suficiente como para anticipar cual será el impacto a largo plazo de la contaminación en el medioambiente (terrestre y marino)?

Desde mi perspectiva, las principales direcciones a seguir que mejor contribuirán a mantener el reconocimiento político y social del interés de la radioecología son:

- Ir más allá del dominio que ha existido durante tiempo de una actitud exclusivamente antropocéntrica en el desarrollo de la radioecología. Esta actitud tiene sus raíces en un antiguo paradigma filosófico del dominio de la tecnología humana sobre la naturaleza, que el desafortunado accidente nuclear en la central de Fukushima Daiichi ha puesto en duda.
- Desarrollar, por lo tanto, una capacidad adecuada para construir además una actitud más *eco-céntrica*, lo que significa abandonar el estatus de la radioecología como únicamente subsidiaria de la protección radiológica humana. Esencialmente, esto significa que hay que equilibrar mejor los esfuerzos dedicados a los estudios de transferencia y efectos, hacia poblaciones de todas las especies que interactúan en los ecosistemas (incluidos los seres humanos). La sostenibilidad de todas las formas de vida en el planeta, y no sólo la de los seres humanos, se ha convertido en una cuestión general que insta a controlar el riesgo asociado a factores de estrés ambientales y sustancias tóxicas, incluidos los radionucleidos. Más *ecocentrismo* ayudará a la radioecología a ser reconocida por sí misma como una disciplina autónoma de evaluación de riesgo, exactamente con el espíritu que sus fundadores tenían en mente cuando eligieron su nombre, hace unos 60 años más o menos.



Página electrónica de la Unión Internacional de Radioecología (IUR) <http://www.iur-uir.org/en/>

Aix en Provence,  
13 de enero de 2013

## LA JUNTA DIRECTIVA INFORMA

### Asamblea General de la SEPR

El pasado 30 de noviembre tuvo lugar la Asamblea General de la SEPR coincidiendo con la Jornada La Protección Radiológica en las industrias NORM que se celebró en el Ciemat (Madrid).

Los temas que se trataron según el orden del día establecido fueron:

- **Aprobación del acta de la Asamblea General anterior** que tuvo lugar el 11 de mayo de 2011. Fue aprobada por unanimidad.
- **Informe de la presidenta.** La presidenta Marisa España presentó las actividades realizadas en el año 2012 incluyendo las reuniones de la Junta Directiva, las reuniones de las distintas comisiones y el avance de los trabajos de los foros. Expuso el Plan de Actividades Científico elaborado para el año 2012 y como está casi concluido (puede descargarse en la página web de la Sociedad). Por último realizó una evaluación crítica de las acciones derivadas del Plan Estratégico y su modificación y actualización para el año 2013.
- **Informe del Tesorero.** El tesorero, Alejandro Úbeda, presentó los informes económicos correspondientes al cierre de cuentas del año 2011, los presupuestos para el 2012 y las cuentas a fecha del cuarto trimestre de 2012. Las cuentas se aprobaron por unanimidad.
- **Informe de la secretaria general.** La secretaria, Beatriz Robles, presentó los cambios desde la última Asamblea General en el número de socios de la Sociedad, que tiene en la actualidad 600 socios. Se han producido 41 altas, 27 bajas y el paso de una persona a socio jubilado. Por último, la secretaria comentó que la estructura de la SEPR para el año 2012 no ha variado con respecto a la del año anterior, ésta puede descargarse en la página web de la Sociedad.
- **Decisiones relativas al cambio de Junta Directiva.** La presidenta Marisa España expuso a los presentes la posibilidad de continuar la actual JD hasta el congreso conjunto de Cáceres. Los miembros que deberían salir ahora están de acuerdo en continuar hasta esa fecha si la Asamblea así lo ratifica. Se aprobó por unanimidad que la JD continúe y cambie coincidiendo con el congreso de Cáceres.
- **Presentación de candidaturas para la celebración del próximo congreso conjunto (2017).** Ha llegado por correo a la sede de la secretaria de la SEPR la candidatura de Girona para la celebración del congreso conjunto del año 2017. Dicha candidatura viene presentada por Carles Muñoz Montplet, director de Física Médica y Protección Radiológica del Hospital Universitari de Girona, Doctor Josep Trueta. La candidatura fue recibida positivamente por los presentes en la Asamblea.

Beatriz Robles  
Secretaria General de la SEPR

### Comisión de Actividades Científicas de la SEPR

- El día 10 de diciembre de 2012 se celebró una reunión de la Comisión de Actividades Científicas de la SEPR
- El principal objetivo de esta reunión fue revisar el estado de las actividades llevadas a cabo por los diferentes grupos de trabajo de la SEPR y elaborar una propuesta de actividades científicas de la SEPR para el año 2013.
- Como novedad se puede indicar que se ha aprobado la constitución de un nuevo grupo de trabajo mixto de la SEPR con la SEFM sobre registro de dosis en pacientes para radiodiagnóstico médico. El objetivo de este grupo de trabajo será el estudio de herramientas para la recogida automatizada de dosis de pacientes en estas exploraciones diagnósticas, y el desarrollo de una herramienta a tal efecto, así como una guía para su uso e implementación.
- En cuanto a las actividades científicas que se desarrollarán en el año 2013, cabe destacar la organización del III Congreso Nacional de las Sociedades Españolas de Física Médica y Protección Radiológica que se celebrará en Cáceres, del 18 al 21 de junio de 2013
- Adicionalmente, la Comisión ha propuesto que se celebren en el año 2013, cinco cursos orientados a expertos en protección radiológica, y la celebración de cinco jornadas científicas, siendo una de ellas la Jornada sobre Protección Radiológica en 2012, que se celebra de manera regular todos los años.

Beatriz Robles  
Secretaria General de la SEPR

### Curso y Jornada Técnica "Conocimientos actuales en Radiobiología"

- El conocimiento de los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes constituye uno de los pilares de la protección radiológica. Por tanto, es importante que los profesionales que trabajan en diferentes ámbitos de esta disciplina, tengan acceso a programas de formación que les permitan conocer los fundamentos y los últimos avances en radiobiología. Por este motivo, del 22 al 26 de octubre de 2012 la SEPR organizó el Curso y la Jornada Técnica "Conocimientos Actuales en Radiobiología". Ambas actividades han contado con la colaboración económica del Consejo de Seguridad Nuclear y con el apoyo del Ciemat, del CSIC y de la Universidad Autónoma de Madrid.
- El curso, declarado de interés sanitario y acreditado con tres créditos por la Agencia *Lain Entralgo*, fue inaugurado por Marisa España, presidenta de la SEPR, y tuvo como objetivos analizar el estado actual del conocimiento sobre los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes, con especial interés en aquellos que puedan producirse tras exposición a dosis bajas, y exponer los avances científicos acontecidos en los últimos años en radiobiología, epidemiología y protección radiológica.
- Tanto el curso, como la jornada, se han dirigido a todos los profesionales relacionados con el uso de las radiaciones ionizantes, ya sea a nivel médico, de investigación o expertos en

protección radiológica; así como al personal facultativo de las unidades de vigilancia de la salud, pertenecientes a los servicios de prevención de riesgos laborales. La acogida del curso fue excelente, contándose con la participación de 31 alumnos, por lo que se superó el número inicialmente previsto. El programa del curso constó de diecisiete horas de teoría y una mesa redonda final de dos horas, en la que se trataron los aspectos prácticos y legales relacionados con los efectos de las radiaciones ionizantes. Los temas impartidos en el curso fueron recogidos en una publicación (editada en formato CD, con ISBN).

Como colofón al curso, se organizó el viernes 26 de octubre una jornada técnica que tuvo como objetivos presentar la plataforma Melodi, centrada en el estudio de los efectos a dosis bajas de las radiaciones ionizantes, y discutir la interrelación existente entre la radiobiología y otras áreas de conocimiento afines, como son los efectos biológicos producidos por las radiaciones no ionizantes, la radioecología y los mecanismos implicados en el desarrollo de cáncer. Esta jornada, celebrada en el Salón de actos del Ciemat, fue inaugurada por Carmen Martínez Ten, presidenta del Consejo de Seguridad Nuclear; Marisa España, presidenta de la SEPR; el Dr. Jaime Renart, director del Instituto de Investigaciones Biomédicas (CSIC-UAM); y Yolanda Benito, directora del Departamento de Medio Ambiente (Ciemat). La acogida de la jornada fue también excelente, con una asistencia de más de 70 personas.

Tanto el profesorado, como los participantes en la mesa redonda y en la jornada técnica, estuvo constituido por expertos del máximo nivel en sus especialidades. Se considera que los objetivos marcados en el curso y la jornada se consiguieron sobradamente, generándose en los diferentes temas tratados gran interés e intercambio de conocimientos. En este sentido, y teniendo en cuenta la opinión de los alumnos del curso obtenida a través de una encuesta de satisfacción, los aspectos positivos a destacar fueron los siguientes: la excelente calificación otorgada a los profesores y a la dirección del curso; así como la adecuación de la documentación facilitada, de los contenidos, del tratamiento de los temas, de la duración y desarrollo general del curso y del aprovechamiento del alumnado.

*Fernando Usera*

*Miembro del Comité organizador del Curso y la Jornada Técnica*

## Curso de Protección Radiológica en la Enfermería de Hospitalización

El día 29 de octubre de 2012 se celebró en el salón de actos del Hospital Universitario de La Princesa, en Madrid, el *Curso de Protección Radiológica en la Enfermería de Hospitalización*, de cinco horas lectivas. Este curso fue organizado por la SEPR y, en el mismo, intervinieron conferenciantes de las siguientes instituciones: H.U. Ramón y Cajal, H.G.U. Gregorio Marañón, H.U. de La Princesa y Consejo de Seguridad Nuclear (CSN).

El objetivo principal del curso fue transmitir a los DUE interesados la verdadera realidad del riesgo radiológico existente en su ámbito de trabajo. Las ponencias corrieron a cargo de profesionales del ámbito de la salud y la protección radiológica, a los que se encomendó la tarea de transmitir conocimientos sobre

este tema que, en general, genera desconfianza, confusión y miedo.

En el acto de apertura tomaron la palabra Carmen Martínez Ten, presidenta del Consejo de Seguridad Nuclear; Máximo González Jurado, presidente del Consejo General de Enfermería; M<sup>º</sup> Angeles Centellas, directora de Enfermería del Hospital Universitario La Princesa; y, Marisa España, presidenta de la SEPR. Todos ellos reconocieron la relevancia del papel que desarrollan los especialistas en la enfermería de hospitalización en el cuidado de los pacientes, y la importancia de que dispongan de información veraz sobre el riesgo radiológico al que se encuentran expuestos como consecuencia de su trabajo.

Tras la inauguración, el jefe del Servicio de Radiofísica y Protección Radiológica del Hospital Universitario Ramón y Cajal, Leopoldo Arranz, expuso las principales aplicaciones de las radiaciones ionizantes en medicina, en los campos de radiodiagnóstico, radiología intervencionista, medicina nuclear y radioterapia. Durante su intervención aportó datos estadísticos sobre la exposición médica de los pacientes en España (tipos de exploraciones y número de instalaciones de cada tipo) y describió las distintas fuentes de radiación que se utilizan con mayor frecuencia en el campo de la medicina, definiendo las características particulares de cada una.

La segunda exposición corrió a cargo de Rafael Herranz Crespo, jefe del Servicio de Oncología Radioterápica del Hospital General Universitario Gregorio Marañón, cuya ponencia versó sobre los riesgos y efectos biológicos de las radiaciones ionizantes, el riesgo radiológico, y sus repercusiones sobre el embrión y el feto. Hizo hincapié en la necesidad de que el personal de la salud comunique la magnitud de los riesgos radiológicos asociados a cada circunstancia de forma eficaz, a través de un lenguaje claro, sencillo y veraz, que consiga tranquilizar y resolver dudas. Asimismo esbozó algunas nociones básicas de radiobiología y dosimetría biológica, y presentó los riesgos radiológicos a los que se encuentran expuestos el embrión y el feto en cada fase del embarazo.

A continuación, tomó la palabra Carmen Álvarez García, jefa del Área de Instalaciones Radiactivas Médicas del Consejo de Seguridad Nuclear, quien describió el sistema legal de protección radiológica, definiendo los principios generales de la protección radiológica y los límites de dosis establecidos para los trabajadores expuestos a las radiaciones, y explicó su aplicación al personal de enfermería de hospitalización.

En las dos siguientes intervenciones, Rosa M. Sánchez, DUE del Servicio de Radiodiagnóstico del H.U. de La Princesa, presentó el rol de la enfermería en el ámbito del radiodiagnóstico e intervencionismo; y Encarnación Rojas, DUE del Servicio de Medicina Nuclear del H.G.U. Gregorio Marañón, y Margarita Hernández, DUE del Servicio de Oncología Radioterápica del H.G.U. Gregorio Marañón, hablaron sobre el riesgo radiológico para la enfermería ajena en el manejo de los pacientes sometidos a diagnóstico con elementos radiactivos o radiaciones ionizantes. Durante estas intervenciones se detallaron las principales funciones de los profesionales de la enfermería en los servicios de radiodiagnóstico y las connotaciones particulares que deben tenerse en cuenta en el caso de la radiología pediátrica, se identificaron los radiofármacos más utilizados en medicina nuclear, y



se analizaron los riesgos radiológicos asociados a la radioterapia externa, a la curiterapia y a la braquiterapia.

La última ponencia corrió a cargo de Marisa España, en calidad de jefa del Servicio de Radiofísica y Protección Radiológica del H.U. de La Princesa, quien presentó los procedimientos clínicos de radiodiagnóstico, medicina nuclear y oncología radioterápica fuera de sus respectivas instalaciones (en los servicios de UVI, UVI de pediatría y neonatos, habitaciones de hospitalización y quirófanos) y aportó instrucciones para los profesionales de la enfermería de la hospitalización.

Una vez terminadas las presentaciones se abrió un coloquio en el que los ponentes y coordinadores de la jornada respondieron a las preguntas, comentarios y sugerencias de la audiencia.

Isabel Sierra, CSN

### Curso "Blindajes frente a radiaciones en instalaciones sanitarias"

El 9 de noviembre tuvo lugar en el Hospital Clínico Universitario Lozano Blesa de Zaragoza la segunda convocatoria del curso "Blindajes frente a radiaciones en instalaciones sanitarias", organizado por la Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR) y coordinado por Pedro Ruiz Manzano y M<sup>o</sup> Ángeles Rivas Ballarín, integrantes del Servicio de Física y Protección Radiológica del citado hospital. El curso contó con 26 alumnos inscritos y con la asistencia de varios profesores como oyentes durante toda la jornada.

La extensión del curso fue de siete horas lectivas, durante las cuales se desarrollaron los procedimientos de cálculo y requisitos que han de cumplir los blindajes en distintos tipos de instalaciones, como resonancia magnética, PET, braquiterapia, radioterapia y radiodiagnóstico.

Tras la inauguración y bienvenida realizada por Pedro Ruiz Manzano, comenzó la primera ponencia, impartida por Eduardo Guibelalde del Castillo, catedrático de Física Médica de la Universidad Complutense de Madrid el cual, basándose en ICNIRP, en la legislación europea sobre seguridad frente a campos electromagnéticos y en la nota técnica de Prevención 523 (Ministerio de Empleo y Seguridad Social), desarrolló la necesidad de blindajes y consideraciones especiales en instalaciones de Resonancia Magnética (RM), así como al cálculo de blindajes y aspectos de seguridad en dichas instalaciones, que han de incluir, tanto a las radiofrecuencias externas, como al campo magnético estático.

Seguidamente, José Ramón Puértolas Hernández, del Complejo Hospitalario de Donostia, se encargó de la sesión de PET. Expuso, por un lado, los contenidos del documento de la AAPM elaborado por el *Task Group 108* y, por otro, la hoja de cálculo que está a libre disposición en la página web de la Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR) ([www.sepr.es](http://www.sepr.es)), y que él mismo confeccionó siendo residente del Hospital Dr. Negrín de Gran Canaria. La hoja sigue la metodología del TG-108 y permite el cálculo de blindajes tanto en salas de captación, como en la sala de imagen.

Los blindajes en salas de braquiterapia fueron presentados por Vicente Crispín Contreras, radiofísico del Instituto Valenciano de Oncología. La ponencia comenzó con un análisis de los factores de transmisión y atenuación disponibles para estas fuentes, y con-

tinuó con la utilización de la hoja de cálculo "Cálculo blindajes braquiterapia" realizada por Carlos Fernández Fernández, también disponible en la web de la SEPR. Para el cálculo de blindajes se basó en el *report* n<sup>o</sup> 151 de NCRP y en estudios por Método Monte Carlo realizados por el propio grupo valenciano.

M<sup>o</sup> Ángeles Rivas Ballarín, se encargó de exponer los blindajes correspondientes a aceleradores lineales de electrones, Tomoterapia y *Cyberknife*, comenzando por un análisis de los aspectos más relevantes del mencionado *report* n<sup>o</sup> 151 de NCRP. También se refirió brevemente a la norma DIN 6847-2 y presentó la hoja de cálculo basada en esta norma realizada desde el S<sup>o</sup> de Física y P.R. del H.C.U. Lozano Blesa, de libre disposición en la web de la SEPR. Se presentaron casos prácticos y comparación de resultados entre NCRP-151 y DIN 6847-2, con especial énfasis sobre las geometrías y métodos de cálculo para blindajes de puertas frente a neutrones.

La última ponencia del curso se dedicó a blindajes en instalaciones de radiodiagnóstico y contó para su desarrollo con la experiencia de Pedro Ruiz Manzano, presentando el procedimiento de cálculo de blindajes atendiendo a los criterios de la Guía de Seguridad 5.11 de CSN, y Francisco Javier Rosales Espizua, radiofísico del Hospital de Basurto de Bilbao, en cuya exposición analizó las consideraciones técnicas y los procedimientos de cálculo en barreras primarias y secundarias, según el *report* n<sup>o</sup> 147 de NCRP, concluyendo con casos prácticos, en los que comparó y enfrentó los resultados obtenidos a partir de ambos métodos, NCRP-147 y CSN 5.11. En particular, se desarrollaron con especial detalle blindajes de instalaciones TC, cuya metodología difiere del cálculo de blindajes de salas convencionales o de fluoroscopia.

El programa del curso fue clausurado por Pedro Ruiz Manzano, agradeciendo la presencia de ponentes y asistentes, con el deseo de nuevas convocatorias.

Miguel Giner, Radiofísico residente. H.U. de la Princesa

### Curso y Jornada Técnica "Protección Radiológica en las industrias NORM"

Durante los días 27 al 30 de noviembre de 2012 se celebró en las instalaciones del Ciemat el curso "La Protección Radiológica en industrias NORM", organizado por la Unidad de Protección Radiológica del Público y del Medio Ambiente y la Unidad de Formación en Protección Radiológica y Tecnología Nuclear del Ciemat. El último día del curso consistió en una Jornada técnica abierta, a todos los participantes interesados, organizada por la SEPR en colaboración con el Ciemat, Enresa y el CSN.

El curso fue planteado para dar respuesta a la necesidad de considerar la protección radiológica que contemple los incrementos a la exposición a la radiactividad natural que se producen en una serie de industrias denominadas NORM (del acrónimo en inglés de *Naturally Occurring Radioactive Materials*).

Estos incrementos, y la protección ante dichas radiaciones, aparecieron plasmados en el Título VII del Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes (BOE 178 de 26 de julio de 2001), que tomó como base la Directiva de Seguridad Europea 96/29. Sin embargo, hasta el borrador





Haridasan Pappinisseri, Pedro Carboneras y Jose L. Martín-Matarranz.



Cayetano López (dtor CIEMAT), Rosario Velasco (consejera CSN) y Rosario Salas (Junta Directiva SEPR).

de la nueva Directiva de Seguridad Europea, no se detalló el tratamiento que debe realizarse sobre esas industrias y en este aparece, por primera vez, un listado positivo de las industrias que deben controlarse.

A nivel nacional, en noviembre de 2010, aparece una modificación al Título VII del Reglamento (RD 1439/2010) y en 2012 se publica la Instrucción IS-33 del CSN sobre "Criterios radiológicos para la protección frente a la exposición a la radiación natural", que desarrolla dicho Real Decreto y la Guía de Seguridad GS-11.02 sobre el "Control de la exposición a fuentes naturales de radiación".

Los esfuerzos tanto por parte del OIEA, que viene realizando desde el año 2006 guías específicas que consideran la PR en estas industrias, como de la Unión Europea, que ha promovido recomendaciones específicas y la existencia de Redes de intercambio de experiencias. Y como del CSN español, que financió diversos estudios encaminados a evaluar el posible impacto radiológico de estas industrias, dan una idea de la amplitud que la regulación de este tipo de radiactividad plantea. En el curso se proporcionó la información necesaria para los estudios de evaluación que estas industrias están obligadas a realizar sirviendo además de punto de encuentro entre todos los actores involucrados en la problemática.

Para ello, se contó con un profesorado altamente cualificado y con gran experiencia tanto en protección radiológica, como en evaluaciones en industrias NORM, provenientes de universidades de todo el ámbito nacional (Sevilla, Huelva, País Vasco, Politécnica de Valencia, Extremadura y Cantabria), así como con las instituciones participantes en la organización del curso (Ciemat, CSN y Enresa). Para la jornada, inaugurada por el director del Ciemat, una consejera del CSN y un miembro de la Junta Directiva de la SEPR, se contó además con un experto del OIEA en la problemática NORM, un representante del Ministerio de Industria, Energía y Turismo, uno del CSN, uno de Enresa y otro de la Sociedad Española de Sanidad Ambiental (SESA).

El curso contó con más de 30 alumnos que mostraron un alto grado de conocimiento y participación, con interesantes debates

a lo largo de toda su duración. La jornada, que formaba además parte del curso, consiguió una asistencia de más de 80 personas.

Todo el contenido del curso se editó en un CD que se repartió entre los asistentes, mientras que las ponencias de la jornada se encontrarán además disponibles en la web de la SEPR.

Juan Carlos Mora y Beatriz Robles  
Coordinadores del Curso

## Conferencia en el Centro Penitenciario de Zuera

El día 21 de diciembre de 2012, la Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR) patrocinó e impartió una conferencia divulgativa en el Centro Penitenciario de Zuera (Zaragoza) dirigida a los internos de esta institución. El equipo cultural y docente para los internos, con la entusiasta colaboración de su coordinador Carlos Izquierdo, solicitó esta charla como una actividad paralela a su programa de formación *Ciencia Viva*. La charla fue impartida por Pedro Ruiz Manzano con el sugerente título "La radiactividad y las radiaciones ionizantes en medicina". En la charla se explicó la estructura de la materia, el descubrimiento y la producción de las radiaciones ionizantes, sus primeras aplicaciones, sus mecanismos de interacción, los efectos biológicos sobre los seres vivos, los métodos de protección radiológica, sus aplicaciones en la medicina actual, la legislación vigente y las funciones que los radiofísicos hospitalarios desarrollan en los hospitales. También se comentaron otros usos de las radiaciones ionizantes, los usos de las radiaciones no ionizantes y se dio a conocer la web de la SEPR explicando sus apartados y comentando la cantidad de información que de ella se puede obtener. Asistieron más de 100 internos. La charla fue del gran interés para de los internos que hicieron numerosas preguntas tanto sobre radiaciones ionizantes, como sobre radiaciones no ionizantes. Tras la charla, dos internos hicieron una entrevista al ponente para la revista que el centro penitenciario edita de manera regular. Posteriormente el ponente realizó una visita guiada por los diferentes recintos de la institución. El trato recibido, tanto por parte de los internos como por parte de los funcionarios, fue muy correcto y amigable en todo momento. Para el ponente fue una actividad muy gratificante y recomendable. Para la SEPR podría suponer el primer acto solidario de los muchos que podría tener hacia nuestra sociedad.



Comité de redacción

# CÁCERES 2013

18-21 DE JUNIO DE 2013 Complejo Cultural San Francisco



**Juan José PEÑA BERNAL**

Presidente del Comité Organizador del III Congreso Conjunto SEFM-SEPR

Queridos amigos y amigos:

Cuando propusimos a las Juntas Directivas de las Sociedades Españolas de Física Médica y Protección Radiológica nuestro deseo de organizar el III Congreso Conjunto SEFM-SEPR en la hermosa ciudad de Cáceres, lo hicimos a sabiendas del gran reto que supone estructurar un gran congreso donde se combinen los aspectos científicos y profesionales del mayor nivel con algunas excelencias específicas de la tierra de acogida, en este caso la extremeña.

Tendréis la ocasión de disfrutar personalmente algunas de estas peculiaridades durante la celebración del evento, los días 18, 19, 20 y 21 de Junio de 2013 en el Complejo Cultural San Francisco de Cáceres, antiguo convento medieval, reformado y modernizado para contar, en un impresionante entorno, con instalaciones y servicios adecuados para celebrar un encuentro de esta relevancia.

La organización del congreso implica sacrificios y esfuerzos de muchos profesionales, empresas e instituciones, a los que desde este primer momento expresamos nuestra gratitud por su apoyo e implicación, en especial a los colegas que han aceptado formar parte de los Comités Organizador y Científico y a las Juntas Directivas de ambas sociedades.

Deseo agradecer al Ayuntamiento y Diputación de Cáceres, a la Universidad de Extremadura, a su Consejo Social, a la Asamblea de Extremadura y al Gobierno de nuestra Comunidad Autónoma, su apoyo en la organización de un evento de esta magnitud.

Esperamos, como ha sucedido en congresos anteriores, la máxima colaboración del Consejo de Seguridad Nuclear, Ciemat, Enresa, Enusa, Unesa, Endesa y de muchas empresas y casas comerciales, de sus soportes científicos y tecnológicos, de sus apoyos económicos.

Pero lo más importante es la contribución personal de cada uno de vosotros. Sin ella no tendría mucho sentido el esfuerzo de los Comités Organizador y Científico y el apoyo de las instituciones y empresas. Así pues, os animamos a la participación.

En la página <http://www.sefmseprextremadura2013.es> podrás estar informado permanentemente sobre la marcha de la organización del congreso, incluyendo la posibilidad de inscribirse online y de gestionar el envío de comunicaciones y posters.

Vamos a poner nuestra ilusión, empeño y afecto en lograr que vuestra estancia sea grata y enriquecedora. Un fuerte abrazo.

## ORGANIZACIÓN

### COMITÉ ORGANIZADOR

PRESIDENTE: Juan José Peña Bernal

VICEPRESIDENTE INSTITUCIONES E INTERNACIONALES: Leopoldo Arranz y Carrillo de Albornoz

VICEPRESIDENTE ORGANIZACIÓN Y ECONOMÍA: Manuel Fernández

SECRETARIOS: José Manuel Ordiales Salís y Daniel Roberto Domínguez

VOCALES: Pedro Almendral Manzano, Antonio Baeza Espasa, Bartolomé Ballester Moll, Jesús Carbajo Chávez, Bernardo Falero García, José Miguel Fernández, Natividad Ferrer García, Marisa Marco Arbolí, Pedro Javier Mancha Mateos, Enrique Marqués Fraguela, Juan M<sup>º</sup> Pérez Moreno, Borja Rosell Herrera, M<sup>º</sup> Angeles Rossell Bueno, Miguel Ángel Suero Rodrigo y Alejandro Ugarte Pallares.

### COMITÉ CIENTÍFICO

COPRESIDENTE SEPR: Pío Carmena Servet

COPRESIDENTE SEFM: Francisco Sánchez Doblado

SECRETARIOS: Damián Guirado Llorente y José Antonio Terrón León

VOCALES: José Carlos Antoranz Callejo, Rafael Arráns Lara, Josep Baró Casanovas, Raquel Barquero Sanz, Caridad Borrás Amoedo, Borja Bravo Pérez-Tinao, Antonio Brosed Serreta, Manuel José Buades Corner, Alfonso Calzado Cantera, Pedro Carboneras Martínez, Margarita Chevalier del Río, Teresa Eudaldo Puell, José Manuel Gamo Jiménez, Feliciano García Vicente, Rafael García-Tenorio García-Balmaseda, Eugenio Gil López, Mercè Ginjaume Egido, Faustino Gómez Rodríguez, Eduardo Guibelalde del Castillo, José Hernández Armas, Pablo Jiménez Cencerrado, Nuria Jornet i Sala, Juan Ignacio Lagares Gonzalez, Antonio Leal Plaza, Antonio López Medina, Josep María Martí Climent, Carlos Montes Fuentes, Luis Nuñez Martín, José Pérez Calatayud, Javier Pifarre Martínez, Rafael Puchal Añe, Raúl Ramírez García, Almudena Real Gallego, Montserrat Ribas Morales, Manuel Rodríguez Martí, Francisco Javier Rosales Espizua, Joan Vicent Roselló i Ferrand, Carmen Rueda Fresneda, Rosario Salas Collantes, Beatriz Sánchez Nieto, Camilo Sanz Freire, Ricardo Torres Cabrera, Alejandro Úbeda Maeso y José M<sup>º</sup> Vega Fernández.



## ÁREAS TEMÁTICAS

El contenido científico del Congreso se ha estructurado en las siguientes áreas temáticas:

- Radiobiología.
- Detección y medida de las radiaciones: metrología y dosimetría.
- Educación y formación.
- Reglamentación y normativa.
- Aspectos sociales y éticos del uso de las radiaciones.
- Radiaciones no ionizantes.
- Situaciones de exposición existente.
- Situaciones de exposición planificada: centrales nucleares y actividades del ciclo de combustible; aplicaciones industriales (radiografía industrial, transporte, seguridad física); instalaciones de investigación.
- Residuos radiactivos, desmantelamiento y clausura de instalaciones.
- Situaciones de exposición en emergencias.
- Protección radiológica del público y del medioambiente.
- Radioterapia.
- Medicina nuclear.
- Radiodiagnóstico e intervencionismo médico.
- Biofísica.
- Técnicas de modelado y simulación.
- Otros.

## CONFERENCIAS PLENARIAS

Las conferencias plenarias son aquellas en las que no tienen lugar otras actividades en paralelo, porque están dedicadas a todos los congresistas. Dentro de este apartado también se incluyen las conferencias de apertura y de clausura del Congreso. Se han previsto cuatro conferencias plenarias (una diaria) con una duración de una hora cada una y se celebrarán en el Auditorio:

- **El legado mudéjar. El arte como diálogo y transmisión intelectual.**  
*Pilar Mogollón* (catedrática de Historia de la Univ. de Extremadura).
- **La protección del paciente en los tratamientos modernos de radioterapia.**  
*Beatriz Sánchez-Nieto* (radiofísica y profesora de la Pontificia Universidad Católica de Chile)
- **La protección radiológica en la rehabilitación de Fukushima.**  
*Eduardo Gallego* (catedrático de Ingeniería Nuclear de la Universidad Politécnica de Madrid)
- **Fundamentos del sistema de protección radiológica.**  
*Abel González* (vicepresidente del ICRP)

## CONFERENCIAS SEMIPLENARIAS

Las conferencias semiplenarias son aquellas cuya temática es más específica de cada Sociedad, por lo que se celebran en paralelo con otra conferencia semiplenaria sobre temas de interés para la otra Sociedad. Se han previsto seis conferencias semiplenarias de una hora de duración:

- **Presente y futuro de la dosimetría.** *Alfred Klett*
- **Hadronterapia: fundamentos, presente y futuro.**  
*A. Mazal* (Instituto Curie, París)
- **Dosimetría de referencia: hojas nuevas que no dejan ver el árbol.**  
*Pedro Andreo* (Division of Medical Radiation Physics, Department of Physics-Stockholm University, Karolinska University Hospital)
- **El futuro almacén de combustible gastado ATC.** *Pablo Zuloaga* (Enresa)
- **Cultura de seguridad radiológica y participación de la sociedad.**  
*Fernando González* (Tecnatom)
- **Fundamentos de la aceleración de partículas cargadas por medio de radiación láser inflarrojo.**  
*Luis Roso Franco* (Centro de Láseres Pulsados (CLPU), Salamanca)

## MESAS REDONDAS

Las mesas redondas son sesiones donde se presentan diferentes visiones de un tema para tener un coloquio final con los asistentes. Por tratarse de temas bastante específicos se plantean en paralelo con otra mesa redonda y dos debates. Se han previsto cuatro mesas redondas con una duración de 90 minutos:

- **La información asimétrica y riesgos a pacientes, familiares, voluntarios y población.**
- **Nueva directiva comunitaria.**
- **Presente y futuro de la especialidad de Radiofísica. Máster en Física Médica.**
- **Actuaciones de PR en las centrales nucleares españolas derivadas del accidente de Fukushima y las pruebas de resistencia.**

## DEBATES

Los debates son sesiones donde se defienden diferentes visiones opuestas de un tema para tener un coloquio final con los asistentes. Son primicia en este Congreso. Por tratarse de temas bastante específicos se plantean en paralelo con otro debate y dos mesas redondas. Se han previsto dos sesiones de una duración de 90 minutos:

- **Formación continuada on line en PR. Presente y futuro.**
- **IMRT Directa - Inversa. Exposiciones médico-legales (imágenes no médicas).**
- **¿Dosimetría individualizada para pacientes en diagnóstico?**





## CURSOS

Los cursos son sesiones donde se imparte formación y actualización de los conocimientos a los asistentes al Congreso que deseen participar. Se han previsto dos tipos de cursos:

- Cursos pre-congreso, de tres horas de duración, que tendrán lugar el martes de 16 a 19 horas, antes de la inauguración del Congreso.
- Cursos de refresco, de una hora de duración, que tendrán lugar cada día de 8 a 9 horas, antes de las conferencias plenarias del Congreso.

Los cursos pre-congreso son los siguientes:

- La responsabilidad legal del jefe de PR.
- Registro automático de dosis en radiología digital.
- Dosimetría en radioterapia en condiciones de no referencia.
- Verificación y planificación con Monte Carlo de tratamientos complejos. Limitaciones actuales y perspectiva de los planificadores comerciales.
- Taller de control de calidad en monitores de diagnóstico médico.

Los cursos de refresco previstos son los siguientes:

- Hipofraccionamiento: justificación radiobiológica.
- Peritajes en protección radiológica.
- Consideraciones prácticas para la medida y cálculo de dosis en SBRT.
- Métodos de procesado de la imagen médica.
- Evaluaciones de riesgos de efectos biológicos en el embrión o feto.
- Tecnología híbrida: PET - RM - TPS.
- Aplicación de códigos para la evaluación del impacto radiológico en público y medioambiente.
- FFF (*Flattering Filter Free*) ¿Por qué?
- Control de movimiento respiratorio en radioterapia.
- Determinación de las dosis en TC Cone Beam.

## FECHAS CLAVE

- Las inscripciones que se realicen entre el **9 y el 15 de junio** llevarán un **incremento del 10%** en la cuotas de inscripción.
- Las inscripciones que se realicen después del **16 de junio** llevarán un **incremento del 20%** en la cuotas de inscripción.

<b>Cuota de inscripción reducida</b>	15 de mayo 2013
<b>Cuota inscripción normal</b>	8 de junio 2013
<b>Reserva para la cena de clausura en el Castillo de la Argüjuela del S. XV</b>	31 de mayo 2013

### Nota importante:

La cuota de inscripción **no incluye la Cena de Clausura**. La reserva se realizará antes del 31 de mayo para poder garantizar el espacio:

Congresista: 30 €

Acompañante: 30 €



## PROGRAMA SOCIAL

Dentro del Programa Social se llevará a cabo una **visita guiada por la ciudad vieja de Cáceres**, declarada Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO. Uno de los conjuntos monumentales más importantes del mundo, visitando algunos de los monumentos más emblemáticos.

Se llevará a cabo la **visita a una de las mejores queserías** pertenecientes a la **denominación de origen "Torta del Casar"**.

Se están concretando algunas actividades adicionales como un **paseo en barco por el Tajo** y una **visita a "El Parque Nacional de Monfragüe"**.

## DATOS DE INTERÉS

### SECRETARÍA TÉCNICA

GLOBAL EVENTS NETWORKING S.L.

Plaza Antonio Zoido nº1 planta 5 Letra I  
06010 Badajoz

+34 924 24 98 23 - 670 91 99 75

secretariatecnica@sefmseprextremadura2013.es

### SEDE

COMPLEJO CULTURAL SAN FRANCISCO

Centro de Congresos y Exposiciones

Ronda de San Francisco s/n

1002 Cáceres

www.brocense.com

### INSCRIPCIÓN

A través de la página web del Congreso:

www.sefmseprextremadura 2013



## CULTURA Y PROTECCIÓN RADIOLÓGICA. UN CAMBIO GLOBAL

GINEBRA, SUIZA - 23-27 DE JUNIO DE 2014

En 2008 las Sociedades europeas del IRPA han elegido a la Asociación de Protección Alemana -Suiza de Radiación (*Fachverband für Strahlenschutz*, para organizar el 4º Congreso Europeo IRPA en 2014, en cooperación la Asociación Latina de Radioprotección (ARRAD). Ginebra fue escogida como la ciudad anfitriona para este acontecimiento. La opción del lugar también fue motivada por la intención de implicar las organizaciones activamente relevantes internacionales localizadas en Ginebra (ILO, ISO,WHO) en el programa científico.



### DE INTERÉS:

#### **Sociedad Organizadora:**

Asociación de Protección Alemana -Suiza de Radiación (FS)

#### **Sociedad Local:**

Asociación Latina de Radioprotección (ARRAD)

#### **Presidente de Congreso:**

Klaus Henrichs

#### **Programa Científico:**

Rolf Michel (presidente)

#### **Organización Local:**

François Bochud (presidente)

#### **Financiado por:**

FOPH Oficina Suiza Federal de Salud Pública/  
ENSI- Cuerpo de inspectores suizos de Seguridad Nuclear /SUVA- Fondo de Seguros Suizo de Accidentes

#### **Lugar de Congreso:**

Centro Internacional de Conferencias Ginebra (CICG), Ginebra, [www.cicg.ch](http://www.cicg.ch).

#### **Alojamiento:**

120 hoteles y hostales están disponibles desde una a cinco estrellas

#### **Organizador de Congreso:**

SYMPORG SA, Ginebra, [www.symporg.ch](http://www.symporg.ch)  
[www.irpa2014europe.com](http://www.irpa2014europe.com)  
[Info@irpa2014europe.com](mailto:Info@irpa2014europe.com)

#### **FECHAS IMPORTANTES:**

3º circular - 1 de mayo de 2013

**Registro on line y envío de resúmenes:**

1 de mayo de 2013

**Fecha tope de envío de resúmenes:**

15 de septiembre de 2013

**Notificación de aceptación:**

16 de diciembre de 2013

**Plazo para precios reducidos:**

18 de marzo de 2014

### TEMAS

- PR cultura contra cultura de seguridad.
- PR en radiaciones ionizantes y no ionizantes.
- Efectos Biológicos y efectos para la salud de las radiaciones ionizantes y no ionizantes.
- Medidas de la radiación.
- Dosimetría Experimental y computacional.
- PR recomendaciones, normas básicas de seguridad y regulaciones.
- PR de trabajadores, pacientes, y de los miembros del público.
- PR en exposición planificada y en emergencias.
- PR después de acontecimientos de escala grande.
- PR del ambiente.
- PR de los aspectos de seguridad nuclear y actos terroristas.
- PR de radiación natural y radiactividad.
- PR en gestión de residuos y desmantelamiento.
- PR educación y cualificación.
- PR en medicina, industria, e investigación.
- PR y comunicación con la sociedad.



IRPA: International Radiation Protection Association  
FS: Deutsch-Schweizerischer Fachverband für Strahlenschutz  
ARRAD: Association Romande de Radioprotection



# IRPA 2013

RIO DE JANEIRO  
15 - 19 de abril de 2013  
Hotel Royal Tulip



La Sociedad Brasileña de Protección Radiológica (SBPR), con el apoyo de la Federación de Radioprotección de América Latina y el Caribe (FRALC) y la International Radiation Protection Association (IRPA), organización internacional a la cual la SBPR está afiliada, organizará en la ciudad de Rio de Janeiro el IX Congreso Regional de Seguridad Radiológica y Nuclear - Congreso Regional IRPA, conjuntamente con el V Congreso Iberoamericano de Sociedades de Protección Radiológica, del 14 al 19 de abril de 2013.

## PROGRAMA

- Radiación natural, NORM y TENORM.
- Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes.
- Educación, entrenamiento y formación específica.
- Tecnologías y desarrollos en radioprotección.
- Derecho nuclear, recomendaciones internacionales y regulaciones.
- Radioprotección del paciente, trabajadores, miembros del público y medioambiente.
  - Radioprotección del paciente.
  - Radioprotección de los trabajadores y miembros del público en aplicaciones médicas.
  - Radioprotección en aplicaciones industriales y en la investigación.
  - Radioprotección del medioambiente.
- Cultura de la seguridad y percepción del riesgo.
- Comunicación con la sociedad.
- Transporte de material radiactivo.
- Emergencias radiológicas y nucleares.
- Seguridad nuclear.
- Gestión de residuos radiactivos y descomisionamiento.
- Uso de fuentes radiactivas. Metodologías para su control.
- Retos y desafíos del futuro en Protección Radiológica.
- Instrumentación Nuclear y Dosimetría.
- Radiación no ionizante.
- Salvaguardias y seguridad física de las fuentes de radiación.
- Radioecología.

## SECRETARÍA

### INTEREVENT

Av. das Américas 3500 – Bl. Hong Kong 3000 - Sl. 405  
Le Monde Office - Barra da Tijuca - RJ - 22640-102  
Tel.: 55 21 3326-3320  
Fax: 55 21 2437-1483  
www.interevent.com.br  
irpa2013@interevent.com.br

## CUOTA DE INSCRIPCIÓN

Miembros de las Instituciones de Apoyo**	Hasta el día 05/04/2013
Profesionales	US\$ 270
Estudiantes* *	US\$ 230
No miembros	Hasta el día 05/04/2013
Profesionales	US\$ 300
Estudiantes* *	US\$ 250

## AGENCIA OFICIAL DE VIAJES

### BEC TURISMO & EVENTOS

Agencia oficial de viajes del evento IRPA 2013 ofrece a los participantes alojamiento en hotel con tarifas especiales, billetes de avión, traslados y excursiones opcionales.

Para obtener más información, póngase en contacto con:

### BEC TURISMO & EVENTOS

Cristiane Cherulli

Phone: + 55 21 3265-8882

Direct line: + 55 21 3265-8868

Fax: + 55 21 3265-8880

www.bec-eventos.com.br

E-mail: cristiane.cherulli@bec-eventos.com.br

## PATROCINADORES



## La página web de la SEPR

Como en años anteriores, se presenta un resumen sobre el funcionamiento de la web durante el año 2012. En esta ocasión, debido al cambio de servidor que llevamos a cabo en julio del año pasado, las estadísticas sólo pueden tenerse en cuenta mediante extrapolaciones parciales.

En ese año, una estimación de las visitas recibidas realizada a partir de la media de los últimos meses del año, devuelve un resultado aproximado de 182.000 visitas, es decir, unas 15.200 al mes en promedio, lo que significa una media de 500 visitas diarias a nuestra web. Si bien este resultado implica una reducción respecto a 2011 de casi un 20% hay que hacer notar que en los primeros meses hubo que resolver una serie de dificultades añadidas al cambio de servidor, amén de que en la estadística contamos con los meses de agosto y diciembre, típicamente los mínimos en número de visitas. Además, en el año 2011 existieron circunstancias excepcionales, principalmente el accidente nuclear en Japón y el congreso conjunto SEPR-SEFM, que conllevaron un incremento espectacular en el desarrollo del funcionamiento de la web, tal y como detallamos en el número 71 de RADIOPROTECCIÓN. A pesar de esta reducción, el número sigue siendo lo suficientemente importante como para considerar seriamente la opción de añadir publicidad en la web. Esta opción, que había sido propuesta anteriormente, será ahora estudiada y discutida a todos los niveles. El mes con mayor número de visitas dentro de los meses de los que poseemos datos fue noviembre, con alrededor de 18.000 visitas.

El cambio de servidor ha supuesto varias mejoras que creemos que han sido evidentes y otras más sutiles pero que eran necesarias. Por un lado, una capacidad mucho mayor, que supone que no se deban considerar medidas adicionales en cuanto al tamaño de documentos, por otro lado una mayor velocidad de acceso a la página web y, por supuesto, el ahorro buscado en el coste de la web. Sin embargo algunas de las aplicaciones aún deben ser refinadas para un correcto funcionamiento en el nuevo servidor y seguimos trabajando en ello, así como en mejoras que se detallan en este apartado de la revista siempre que se producen cambios de importancia.

La mayor parte de los visitantes procedían de España, Argentina y Alemania.

Los apartados más visitados fueron *Descargables*, *Convocatorias* y *Formación*.

En cuanto a los documentos más descargados durante el periodo citado del año 2012 destaca el número de descargas del "Manual General de Protección Radiológica en el Medio Hospitalario", publicado el año 2002 que fue descargado sólo en ese periodo más de 12.000 veces y, en segundo lugar, el "Protocolo Español de Control de la Calidad en Radiodiagnóstico" que fue el documento más descargado en el año 2011 y que, en este periodo de cinco meses, se descargó aproximadamente otras 5.000 veces. El apartado en el que se aloja este último documento, además, recibió cerca de 130.000 consultas, lo que sigue constituyendo un hito importante en la web de la SEPR. Muy probablemente la difusión de estos documentos ha venido incrementada de forma muy importante debido al uso de las redes sociales, en las que, tal y como se explicó en números anteriores, la web publica enlaces de forma automática.

Como siempre, reconocer la labor que el Comité de Redacción realiza en la web de la SEPR para hacer llegar de la manera más eficiente posible toda la información de interés para los socios que, esperamos, sea de utilidad.

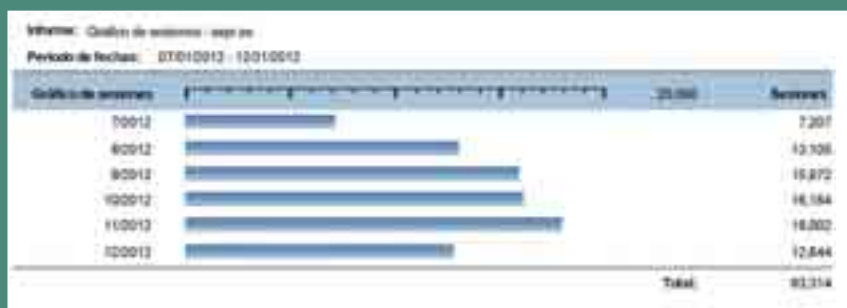


Figura 1.- Visitas mensuales a [www.sepr.es](http://www.sepr.es)

Juan Carlos Mora  
Coordinador web de la SEPR

### Descarga gratuita de las presentaciones de la "Jornada Técnica de Radiobiología"

Ya se encuentran a disposición de los socios las presentaciones realizadas en esta Jornada. Todas las presentaciones se encuentran en formato pdf. Para descargarlas es necesaria la validación como socio.

### Descarga gratuita de las presentaciones de la "Jornada Técnica sobre la PR en Industrias NORM"

Ya se encuentran a disposición de los socios las presentaciones realizadas en esta Jornada. Todas las presentaciones se encuentran en formato pdf. Para descargarlas es necesaria la validación como socio.

# Síntesis histórica de las actividades desarrolladas en el Ciemat en el campo de la radioecología

José Gutiérrez, Beatriz Robles, Almudena Real y Juan Carlos Mora  
Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT)

## RESUMEN

*El trabajo presenta una síntesis histórica de las actividades realizadas en el Ciemat en el campo de la radioecología, en la mayoría de los casos desarrollada en un amplio contexto nacional e internacional, y de sus resultados más relevantes. Entre ellas se incluyen actividades tanto experimentales como de modelización y evaluación, siendo todas ellas relevantes desde el punto de vista radioecológico para predecir, comprender y cuantificar los mecanismos y procesos que gobiernan el comportamiento de los radionucleidos en los diversos ecosistemas y sus vías de transferencia hasta el hombre o la biota no-humana. Se ofrece también una extensa lista de referencias para facilitar el acceso del lector interesado en alguno de los aspectos expuestos, a la información específica correspondiente.*

## ABSTRACT

*This paper is a historical summary of the Ciemat activities in the field of radioecology, carried out, in the most of the cases, in a broad national and international framework. It also presents the most relevant results obtained. Among them, experimental research, modelling and assessment activities are described, all of them relevant from a radioecological point of view for predicting, understanding and quantifying the mechanisms and processes governing the radionuclides environmental behaviour and their pathways to reach humans and wildlife. An extensive list of references is given in order to facilitate the reader access to more specific information related to any of the described areas.*

## INTRODUCCIÓN

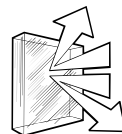
Existen diversas definiciones de radioecología que, principalmente, difieren en su alcance, aunque todas ellas coinciden en un aspecto central: la radioecología es la disciplina científica que agrupa la investigación sobre el comportamiento ambiental de los materiales radiactivos y su transferencia hasta el hombre y la biota no-humana a través de las cadenas ecológicas y alimentarias. Como ciencia auxiliar de la protección radiológica, uno de sus objetivos fundamentales es comprender como las interacciones entre la radiactividad, el medio y los seres vivos afectan a la exposición del hombre y la biota no-humana a las radiaciones. Para ello la radioecología trata de establecer los mecanismos que gobiernan tales interacciones, sus variaciones espaciales y temporales y los principales parámetros que los cuantifican.

El principal estímulo para el comienzo de la radioecología fue, en su momento, la inyección masiva de material radiactivo al medio, debida a las explosiones nucleares que se realizaron en las décadas de 1950 y 1960. A ello se unió el gran desarrollo de la industria nuclear, cuya operación normal libera cierta cantidad de radiactividad adicional, si bien siempre sometida a valores planificados y autorizados. Los

primeros trabajos de radioecología vieron la luz en 1955 como consecuencia de una reunión internacional en Ginebra sobre la utilización pacífica de la energía nuclear.

El Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) puede considerarse un buen referente de las actividades en radioecología realizadas en España. Su predecesor, la Junta de Energía Nuclear (JEN) comenzó los estudios de radiactividad ambiental en el país y, con ello, los estudios radioecológicos, entre los que, en aquel comienzo, se pueden mencionar la medida de niveles del *fallout* radiactivo, consecuencia de las explosiones nucleares en atmósfera, y la ejecución de vigilancia radiológica en el entorno de las instalaciones nucleares y en la zona afectada por el accidente de Palomares en 1966.

En la década de 1980, estas actividades se extendieron a otros escenarios y radionucleidos, considerando las fuentes de radiactividad natural (incluida la modificada por actividades humanas) y artificial y estableciéndose líneas de actividad complementarias y adicionales a la vigilancia radiológica, relativas a radioecología terrestre, radioecología marina, vulnerabilidad radiológica de suelos, tratamiento y gestión de residuos radiactivos, actividades todas ellas que trascendían a la simple medida y



abordaban la modelización, interpretación y evaluaciones de las transferencias ambientales de los radionucleidos y del impacto radiológico. Se comenzó la realización de proyectos bajo acuerdo, colaboración y financiación del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) y la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (ENRESA), colaboración fructífera que no ha cesado desde entonces y sin la que no hubiera sido posible la realización de muchas de las actividades descritas en este trabajo, y su inclusión en el marco internacional.

Tras el accidente de Chernobyl en 1986, la actividad en radioecología se intensificó y la década de 1990 supuso la consolidación de estas líneas, integrando la actividad en proyectos de I+D multinacionales, fundamentalmente dentro del Programa Marco de la UE y la aplicación, además de a la protección radiológica de las prácticas, a la denominada por ICRP 60 en sus recomendaciones de 1990, protección radiológica en situaciones de intervención. La recuperación ambiental post-accidente se añadió a los objetivos tradicionales de reducción de los riesgos radiológicos debidos a la operación normal o a las situaciones accidentales y se comenzaron estudios dirigidos a disponer de un sistema de ayuda a la decisión para la gestión de emergencias radiológicas y nucleares. Más tarde, en los primeros años del siglo actual, la radioecología también se adaptó al nuevo enfoque de la protección radiológica, que, más allá de la consideración puramente antropológica de sus objetivos, atiende a la protección del medioambiente de manera global.

En lo que sigue, se ha tratado de plasmar, aunque de manera inevitablemente resumida y no cronológica, las facetas y logros de la investigación y actividades representativas entre las que el Ciemat ha trabajado en este campo, intentando transmitir el avance que han supuesto en el conocimiento de la radioecología y para los fines de ésta como instrumento auxiliar de la protección radiológica.

## **ACTIVIDADES EN RADIOECOLOGÍA TERRESTRE**

### **Programas de Vigilancia Radiológica Ambiental (PVRA)**

Aunque como se ha mencionado en la introducción, los PVRA pueden considerarse pioneros de las actividades en radioecología, su extensión, el carácter preceptivo de los mismos, la enorme cantidad de resultados de concentración de actividad para diferentes radionucleidos que han producido y la publicación en este mismo número de un artículo centrado en la calidad de los resultados de dichos programas, conducen a no considerarlos aquí expresamente. Hasta la creación del CSN, fue la JEN, precursora del actual Ciemat, la responsable de su establecimiento y ejecución. Con pos-

terioridad a esa fecha, y hasta la actualidad, el Ciemat se centró en la ejecución del PVRA de sus propias instalaciones y en la realización de programas de control de calidad, tanto de los integrados en los propios PVRA, como de los independientes a los mismos, para el CSN. Una excelente síntesis de la vigilancia radiológica en España puede verse en [1].

### **Proyecto Indalo**

El denominado Proyecto Indalo, por las circunstancias que lo originaron, un accidente aéreo de dos aviones militares estadounidenses en 1966, y por las características de la contaminación que dicho accidente produjo en la zona de Palomares (Almería), ha sido, y aún hoy lo es, uno de los proyectos tradicionales y más emblemáticos del Ciemat. Tras el accidente y las actuaciones inmediatas de descontaminación, se estableció, además de un programa de seguimiento médico y dosimétrico de la población, un programa de vigilancia radiológica ambiental en la zona afectada. Ambos programas han venido realizándose ininterrumpidamente y continúan en la actualidad, siendo objeto de informes periódicos preceptivos al CSN. El desarrollo de métodos radioanalíticos y de modelos biocinéticos y dosimétricos, necesarios para la realización del control dosimétrico de la población, fue, sin duda, el germen de la capacidad actual en dosimetría interna de transuránicos en España. La ejecución del programa ambiental en Palomares, conjuntamente con actividades complementarias de investigación radioecológica específicas, implicó el desarrollo de las metodologías para la medida de niveles de Pu y Am en diferentes matrices ambientales, pioneras para los estudios posteriores de análisis de transuránicos en el medio. Ante la imposibilidad siquiera de resumir la ingente cantidad de trabajo realizada a lo largo de los años y los resultados obtenidos del mismo, baste decir aquí que, en adición a la evaluación continua del impacto radiológico a la población, a través de los programas de vigilancia mencionados, los estudios experimentales [2-7] permitieron, además de la ejecución de la caracterización radiológica completa de la zona y el inventario radiológico asociado, conocer o profundizar en procesos y mecanismos como la resuspensión de polvo desde el suelo, la asociación geoquímica de Pu y Am, su distribución en función del tamaño de partículas de suelo, su migración en profundidad, sus relaciones isotópicas, su biodisponibilidad, su transferencia suelo-planta o su biocinética pulmonar específica tras su incorporación al organismo, estudio, este último, que permitió obtener los coeficientes de dosis por la incorporación de polvo contaminado para adultos y niños

de 10 y 1 años de edad. Todo ello de gran importancia en protección radiológica, al permitir una estimación más realista de las dosis.

### **Radiactividad natural**

La constatación de la gran contribución de las fuentes naturales de radiación, principalmente el radón, a la dosis de la población, conllevó el surgimiento de actividades de medidas de este radionucleido, fundamentalmente en interiores de viviendas, para evaluar tal contribución. En España, investigadores de la Universidad de Cantabria (liderados por el profesor Luis S. Quindós) iniciaron amplios estudios desde el punto de vista geográfico. El Ciemat, en colaboración con la Universidad Autónoma de Barcelona, realizó la vigilancia de los niveles de radón en viviendas de Madrid y Barcelona [8]. El estudio, además de estimar la contribución del Rn a la dosis por permanencia en interiores, contribuyó al establecimiento de los factores que influyen en la dosis, como suelos de asentamiento, materiales de construcción, altura de la vivienda, etc., iniciando la identificación de posibles medidas correctoras para la disminución del impacto radiológico [9].

En esta línea de actividades puede mencionarse también la investigación realizada para la determinación del impacto radiológico debido a la operación de la industria de fabricación de ácido fosfórico y fertilizantes fosfatados en Huelva [10]. Las emisiones de efluentes gaseosos y particulados a la atmósfera, la descarga de efluentes líquidos a las aguas superficiales, el depósito de fosfoyeso, rico en Ra-226, en balsas y otras vías de exposición como el uso potencial del fosfoyeso como material de construcción, fueron tenidas en cuenta para la evaluación (Figura 1). El estudio también permitió estimar la eficacia de la restauración decidida por



Figura 1. Medidas en balsas de fosfoyeso (Huelva).

las autoridades regionales. Los resultados de un estudio complementario a esta investigación, centrado en las aguas y sedimentos del estuario de los ríos Tinto y Odiel se mencionan en un apartado posterior de este artículo.

Estas actividades en radioecología, relativa a radionucleidos naturales y fuentes de radiación natural tecnológicamente modificadas, continuaron con la evaluación del impacto radiológico en la industria de la producción de electricidad mediante la combustión de carbón [11]. Dicho estudio comenzó en 2004 en un estudio piloto de las cuatro mayores centrales térmicas de carbón de España y continúa en la actualidad con un proyecto para evaluar todas las centrales del país. Además de esto se ha realizado un estudio de la posibilidad de que los residuos producidos en este tipo de industrias, denominadas NORM en la actualidad, pueda ser gestionado en vertederos de residuos convencionales [12].

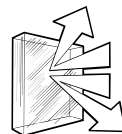
### **Post-Chernobyl**

Tras el accidente de Chernobyl en 1986, la actividad en radioecología se intensificó. Se establecieron programas específicos como CHECIR (*Chernobyl Centre for International Research*) de la UE, en el que tuvieron cabida proyectos multinacionales de diverso tipo (*Experimental Co-operative Projects* (ECP) y *Joint Study Projects* (JSP)) y, además, otros programas como el Programa Marco de la UE y el Programa del OIEA se intensificaron, poniendo el acento en las denominadas por ICRP 60, en sus recomendaciones de 1990, intervenciones. La recuperación ambiental post-accidente, actuaciones en la última fase del accidente en la que sólo los radionucleidos de vida larga permanecerían en los ecosistemas, se añadió a los objetivos tradicionales de reducción de riesgos radiológicos debidos a las operaciones normales o a las acciones de emergencia inmediatas tras un accidente y se comenzaron estudios dirigidos a disponer de un sistema de ayuda a la decisión para la gestión de estas situaciones. Además de actividades tendentes al desarrollo de criterios aplicables a tales situaciones, se trataba de avanzar hacia una mejor predicción de las consecuencias radiológicas y no radiológicas del accidente, identificar y evaluar posibles acciones de remedio y establecer la estrategia de recuperación optimizada. La participación del Ciemat en estos programas fue intensa, destacando las actividades y proyectos que se citan como ejemplo:

#### *Evaluación de contramedidas*

Esta actividad, realizada en 1988, supuso el inicio de las acciones internacionales post-Chernobyl en el Ciemat y consistió en una recopilación exhaustiva de información acerca





de escenarios reales de contaminación (accidentes, pruebas nucleares y otros), tipo de contaminantes, parámetros radioecológicos de contaminantes, contramedidas efectuadas en escenarios reales, tipos, costes y aplicabilidad de las mismas. El resultado fue la publicación de un extenso informe de la evaluación de las contramedidas hasta entonces aplicadas en áreas contaminadas por radiactividad [13].

Otras actividades en este tema, de carácter más experimental, consistieron en la aplicación de técnicas de retirada de la vegetación y suelo asociado, tanto solamente por medios mecánicos adaptados, como por la adición de fijativos previa a la retirada por medios mecánicos (tapiz vegetal descontaminante, aplicación de poliacrilamida PR-3005 y comparación con polisacáridos naturales para su uso como fijativos). La investigación se realizó tanto en laboratorio como en campos experimentales y en campos abandonados de la zona contaminada de Chernobyl [14]. La eficacia de descontaminación, la reducción de factores influyentes en la exposición, como la resuspensión de partículas inhalables, los residuos obtenidos (opciones de depósito y aplicación de biotecnologías para su tratamiento in situ o en planta) y el coste necesario fueron parámetros clave obtenidos en la experimentación.

#### *Resuspensión de suelos contaminados*

Esta investigación [15,16] permitió evaluar las tasas de resuspensión o emisión (fracción del depósito removido por unidad de tiempo o unidad de área) de Cs-137 y Pu-239+240, a partir de medidas de la resuspensión producida por el viento y por diferentes prácticas agrícolas simuladas y reales. Los resultados obtenidos mostraron que la tasa de resuspensión de Cs-137 ( $10^{-10} \text{ s}^{-1}$ ) declinó al menos un orden de magnitud en los siete años posteriores al accidente, que durante la actividad agrícola las tasas de resuspensión pueden exceder a las normales hasta en cuatro órdenes de magnitud, en función de la naturaleza de la práctica agrícola y que eventos como el fuego/incendio de un bosque pueden incrementar la concentración de radiactividad en aire 100 veces. Además, se pudo comprobar que la distribución de la actividad por tamaño de partícula del aerosol radiactivo y que la influencia del tipo de suelo en la tasa de resuspensión (modificaciones hasta de un factor 4) son parámetros importantes en la predicción de la dispersión de la contaminación y las dosis por inhalación.

#### *Transferencia de radionucleidos liberados accidentalmente en ecosistemas agrícolas*

Esta actividad tuvo como objeto hacer más realistas las evaluaciones tendentes a diseñar las acciones postaccidentales.

A partir de la síntesis de un aerosol que simulaba en el laboratorio el término fuente accidental de un reactor, realizada por el IPSN francés, se estudió el comportamiento de los radionucleidos usados como trazadores, Cs-134, Ag-110 y Sr-85, tras su depósito en un suelo típico de la región mediterránea española (*terra rosa*), considerando los procesos físico-químicos que intervienen en el sistema suelo-planta. Sobre dicho suelo se plantaron tres tipos de cultivos representativos (lechuga, guisante y alfalfa), los cuales se contaminaron en diferentes fases de crecimiento. De esta forma se consiguió la determinación de parámetros como el factor de intercepción en función de la densidad de cultivo, la translocación al interior de la planta como consecuencia de riegos, la pérdida de actividad por lavado de las plantas, la migración de los radionucleidos en el suelo, la absorción radicular y la transferencia suelo-planta, todos ellos de importancia en la modelización necesaria para las evaluaciones radiológicas [17]. Con el fin de establecer posibles especificidades regionales influyentes en las estimaciones de dosis por ingestión, la actividad experimental se completó con un estudio dirigido a la caracterización y análisis de los parámetros locales más relevantes requeridos por los modelos de cálculo de dosis, vía cadena alimentaria, profundizándose en las peculiaridades españolas respecto a la diversificación de cultivos, prácticas agrícolas, y dieta [18].

#### *Vulnerabilidad radiológica de suelos*

El interés en conocer la especificidad de los escenarios españoles frente al comportamiento del depósito de radionucleidos en suelos dio lugar a un estudio de la vulnerabilidad radiológica de los suelos españoles. El proyecto se enfocó hacia el Cs-137 y el Sr-90, radionucleidos representativos del depósito radiactivo tras un potencial accidente nuclear, dada la significativa contribución a las dosis externas e internas a la población que dicho depósito puede suponer. La investigación supuso el desarrollo de una metodología de evaluación del potencial del suelo para movilizar o retener radionucleidos en función de sus propiedades edafológicas. Como resultado se obtuvo un índice de vulnerabilidad radiológica para la totalidad de los diversos tipos de suelos encontrados para las diversas condiciones en España [19]. Dado que el uso de suelo puede modificar la vulnerabilidad radiológica del mismo e influir en la exposición humana asociada, el estudio se completó mediante la integración de los usos del suelo y los factores de transferencia suelo-planta recogidos en la literatura a los índices de vulnerabilidad calculados, para obtener la vulnerabilidad radiológica de los sistemas agrícolas españoles [20]. El conocimiento obtenido

en este estudio contribuye a mejorar la gestión de áreas contaminadas con vistas a su posible recuperación, así como a identificar áreas agrícolas de especial sensibilidad radiológica, desde la perspectiva de riesgo, mejorando las predicciones de impacto radiológico y la eficacia de las técnicas de recuperación a aplicar. Así mismo, se compiló una base de datos exhaustiva y detallada conteniendo los datos morfológicos y analíticos para los suelos españoles [21].

### *Recuperación de suelos y superficies contaminadas tras accidente*

Se estudiaron las consecuencias de un accidente nuclear grave sobre el medio agrícola, produciendo una liberación de aerosoles contaminados con Cs-137 y Sr-89, en una instalación lisimétrica original operada en condiciones controladas (IPSN-Cadarache). La investigación se realizó sobre un espectro de plantas, suelos, prácticas agrícolas y condiciones climáticas representativas de diferentes regiones agrícolas europeas [22,23]. El suelo español correspondió a un luvisol cálcico. Los suelos fueron muestreados como grandes monolitos de 2x2x2 m<sup>3</sup>, de tal forma que su estructura original permaneciese inalterada, trasladados e instalados en el invernadero para lisímetros del edificio experimental en Cadarache (Francia). Además, previa a la realización de la experimentación programada, los suelos fueron sometidos a una completa caracterización físico-química. La investigación experimental se dirigió a la clarificación de los mecanismos que gobiernan el comportamiento de ambos radionucleidos en el sistema suelo-planta, en particular, la intercepción del depósito por las plantas, las transferencias foliares y la translocación resultante, los procesos de lavado por lluvia, la migración en los suelos, la composición química del agua intersticial del suelo y su influencia en la absorción radicular, las transferencias a las partes aéreas y comestibles de la planta y, así mismo, la influencia de diferentes prácticas agrícolas sobre su biodisponibilidad y transferencia a productos alimenticios y cadena alimentaria. Se resalta la importancia de la información producida en el proyecto con fines de evaluación de impacto radiológico de la población vía cadena alimentaria y exposición directa desde el suelo y en la gestión de áreas contaminadas.

### *Estrategias de descontaminación y gestión para la restauración ambiental*

Como parte de un ECP Project relativo al estudio de las contramedidas aplicables en una zona contaminada, el Ciemat se ocupó, en una primera etapa, del desarrollo de

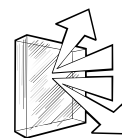
una aproximación metodológica para la evaluación de las consecuencias de diferentes tipos de intervención, en medios agrícolas y urbanos. La metodología preliminar desarrollada consideraba la eficiencia de las contramedidas no sólo en términos de reducción de dosis, sino también en términos de coste, residuos y otros efectos secundarios producidos, en orden a obtener la mejor estrategia posible para cada circunstancia particular. La metodología fue probada para escenarios específicos (casos estudio) de la zona contaminada de Chernobyl, obteniendo niveles específicos de intervención para la justificación de contramedidas y estableciendo un ranking de opciones optimizadas, lo cual puso de manifiesto su utilidad y beneficios a la hora de decidir estrategias locales de intervención [24-26].

Esta participación dio origen a un amplio proyecto sobre "Técnicas y estrategias de gestión para la restauración ambiental y sus consecuencias ecológicas" (Proyecto TEMAS del 4º Programa Marco de la UE) cuyo objetivo era obtener una adecuada capacidad de apoyo a la decisión sobre la elaboración de estrategias de restauración ambiental en caso de accidente nuclear que requiriese una intervención sobre diferentes ecosistemas (urbano, agrícola, semi-natural y bosque). El Ciemat coordinó el proyecto internacional, cuyo principal resultado fue el desarrollo de un sistema de ayuda a la decisión capaz de seleccionar la mejor estrategia local de restauración de un escenario contaminado [27,28] (Figura 2). El sistema desarrollado, implementado como software informático, tuvo en cuenta los siguientes aspectos, para seleccionar la estrategia de intervención óptima:

- Elaboración de un sistema de clasificación para escenarios, tanto urbanos como rurales, basado en factores como el tipo de suelo, el uso de la tierra, el tamaño del asentamiento y las potenciales vías de exposición.



Figura 2. TEMAS: Ayuda a la decisión en la recuperación ambiental post-accidente



- Evaluación de la aplicabilidad general de las acciones de remedio específicas de cada uno de los escenarios identificados.
- Investigación de los efectos secundarios producidos por la aplicación de las acciones correctoras y de los métodos de tratamiento de residuos generados durante la intervención.
- Implementación del sistema como herramienta informática amigable.

Además de la coordinación de este proyecto, el Ciemat firmó un contrato con Euratom para coordinar una asociación de proyectos sobre esta temática en el 4º Programa Marco. Con la participación de más de 20 organizaciones europeas, se obtuvieron diferentes sistemas informáticos de ayuda a la decisión, cada uno con características propias y aplicables a diferentes escenarios de contaminación, se establecieron amplias bases de datos de factores y parámetros radioecológicos y hábitos de producción y consumo, alguna con sistema de georreferenciación incluido, se elaboraron modelos de transferencia de contaminantes, se evaluaron contramedidas novedosas como el uso alternativo de cultivos bioenergéticos a los tradicionales de tierra de labor, y se catalogaron y estimaron los efectos secundarios de múltiples contramedidas y los efectos socioeconómicos asociados a la aplicación de las mismas [29].

## MODELIZACIÓN

La experiencia que siguió al accidente de Chernobyl enfatizó la necesidad de mejorar el conocimiento de numerosos procesos que controlaban la transferencia de los radionucleidos a través de la cadena alimentaria y obtener parámetros más fiables que pudieran utilizarse en la modelización de estos procesos, necesaria para realizar predicciones. A su vez, puso de manifiesto la necesidad de mejorar estos modelos, surgiendo así numerosos ejercicios internacionales de validación e intercomparación, que siguen realizándose periódicamente. Para realizar estos ejercicios se utilizan diversos conjuntos de datos y medidas experimentales entre los que se incluyen las concentraciones de contaminantes resultantes de accidentes como el de Chernobyl y de emisiones históricas de corto y largo plazo, tales como los de instalaciones nucleares de los EE.UU. y de los antiguos países soviéticos. La información contenida en estos estudios ha proporcionado la oportunidad de probar y validar los modelos con datos reales.

Ciemat ha colaborado en este desarrollo de modelos, tanto conceptuales como matemáticos, mediante la participación en los grupos internacionales que los producen, cuyos

resultados están recogidos en documentos como el *Safety Report Series* N°19 del OIEA (Organismo Internacional de Energía Atómica), el cual dio lugar a aplicaciones informáticas propias como el código CROM que aplica dichos modelos (Figura 3). Del mismo modo, se participó en el desarrollo de otras aplicaciones informáticas tales como Amber o Erica-Tool.

A continuación se presenta un breve repaso cronológico de los ejercicios de modelización más significativos, en los que el Ciemat ha participado [30].



Figura 3. Código CROM: Evaluación del impacto radiológico de descargas planificadas

## VAMP (Validation of Model Predictions)

Tras el accidente de Chernobyl, el OIEA estableció un Programa Coordinado de Investigación (1988-1994) sobre la validación de los modelos para la transferencia de radionucleidos en ambientes terrestres, acuáticos y urbanos y la adquisición de los datos necesarios para ello. El programa buscaba utilizar la información sobre el comportamiento ambiental de los radionucleidos a través de los resultados de los programas de medida que estaban instituidos en países de la antigua Unión Soviética y en otros muchos países europeos después de abril de 1986. Estos modelos son los que se utilizan en la predicción de la evaluación del impacto radiológico de todas las fases del ciclo del combustible nuclear y en la evaluación de las posibles consecuencias de accidentes que impliquen la liberación de material radiactivo al medioambiente, además de en el establecimiento de criterios para la aplicación de contramedidas. Ciemat participó en el ejercicio *Multiple Pathways*, dirigido específicamente a la evaluación de la transferencia a los seres humanos a través de todas las vías que son relevantes en los diferentes entornos acuático, agrícola, etc. [31].

### **BIOMOVS I y II (The Biospheric Model Validation Study)**

BIOMOVS fue un programa de cooperación internacional, desarrollado entre los años 1986 y 1996, que puso a prueba la exactitud de las predicciones de los modelos de evaluación ambiental. La evaluación de los modelos se basó en los cálculos realizados por los participantes para 10 escenarios de prueba que abordaron liberaciones de radiactividad de corto y largo plazo, desde instalaciones tales como reactores, repositorios de residuos sólidos y diques de estériles de uranio. Las predicciones de los modelos se compararon entre sí y, cuando fue posible, con las observaciones de campo independientes, buscándose las razones para las diferencias que surgieron. También fueron considerados otros temas de índole cuantitativa, incluyendo el desarrollo de metodologías sistemáticas para la evaluación radiológica.

### **BIOMASS I y II (BIOsphere Modelling and ASsessment)**

Este programa del OIEA tuvo lugar entre los años del 1996 al 2004, para desarrollar y mejorar la capacidad de predecir la transferencia de radionucleidos en el medioambiente. El programa estuvo dividido en los tres temas que se citan a continuación:

*Tema 1: Disposición final de residuos radiactivos.* Su objetivo fue desarrollar el concepto estándar o biosfera de referencia para aplicar en la evaluación de seguridad a largo plazo de depósitos de residuos radiactivos. Bajo el título general de "biosferas de referencia" se establecieron seis grupos de trabajo.

*Tema 2: Emisiones al medioambiente.* Estuvo destinado a desarrollar actividades para aumentar la confianza en los métodos y modelos para la evaluación de la exposición a la radiación relacionada con emisiones al medioambiente. Dos grupos de trabajo abordaron temas en relación con la reconstrucción de las dosis de radiación recibidas por las personas por anteriores vertidos de radionucleidos al medioambiente y con la evaluación de la eficacia de las medidas correctoras.

*Tema 3: Procesos de Biosfera.* El objetivo de este tema fue mejorar las capacidades de modelizar la transferencia de radionucleidos identificados como de potencial importancia radiológica en determinadas partes de la biosfera y donde había lagunas en los enfoques de modelización. Este tema fue explorado utilizando una variedad de métodos, incluyendo revisiones de modelos, ejercicios de intercomparación y, cuando fue posible, experimentación. Se incluyeron tres

grupos de trabajo: dispersión de tritio a largo plazo en el medioambiente, transferencia de radionúclidos en frutas y migración y acumulación de radionucleidos en los ecosistemas forestales [32-35].

### **EMRAS I y II (Environmental Modelling for Radiation Safety)**

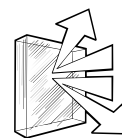
EMRAS I fue un programa del OIEA que comenzó el año 2003 con una duración de cuatro años, y que fue posteriormente ampliado con dos grupos de trabajo adicionales (EMRAS II) hasta 2011. Se pretendía dar continuidad a los trabajos iniciados con anterioridad por el OIEA en el campo de la radioecología, centrándose en aquellas áreas con mayor incertidumbre dentro de los modelos predictivos medioambientales, en particular, en situaciones novedosas en el campo de la protección radiológica y en medios específicos (acuático y urbano). El Ciemat participó inicialmente en el grupo dedicado a la modelización de vertidos de radionucleidos naturales (NORM) incrementando su participación en EMRAS II para trabajar además en los grupos de modelización en repositorios de residuos y de modelización de la biota no humana. Toda la documentación producida en ambos programas se encuentra de forma pública en [36, 37].

### **MODARIA (Modelling and Data for Radiological Impact Assessments)**

En 2012 se lanzó el Programa MODARIA que, a su vez, pretende mejorar las capacidades existentes en el campo de la evaluación de las dosis al ser humano y al medioambiente mediante la adquisición de mejores datos para la comprobación de los modelos, dando continuidad a programas anteriores. El objetivo principal en este caso enfatiza en la mejora de los modelos de transferencia para así reducir las incertidumbres asociadas a estas evaluaciones o bien el desarrollo de nuevas metodologías que fortalezcan las evaluaciones del impacto radiológico al hombre, a la flora y a la fauna. En este programa se constituyeron 10 grupos de trabajo, participando el Ciemat en cuatro de ellos: biota no humana, NORM, residuos radiactivos e incertidumbres en descargas rutinarias.

### **ACTIVIDADES EN RADIOECOLOGÍA ACUÁTICA**

Las actividades en radioecología acuática comenzaron formando parte de los PVRA en el entorno de instalaciones nucleares. A lo largo de los años, se recogieron, analizaron y midieron un gran número de muestras procedentes de ríos, en las zonas de influencia con potencial descarga de efluentes radiactivos



procedentes de alguna instalación nuclear. Aguas, sedimentos y una gran variedad de organismos pertenecientes al ecosistema acuático formaron parte de esa colección. Los resultados de sus medidas han servido para determinar los niveles de radiactividad existentes en las zonas de las cuencas españolas potencialmente influenciadas por instalaciones nucleares, la determinación de parámetros de transferencia entre eslabones del medio acuático, y el control, mediante estimaciones dosimétricas, del potencial impacto radiológico de la población por el uso del medio acuático. Aún hoy esta actividad sigue vigente en el Ciemat en lo relativo a su propio programa de vigilancia radiológica y los programas de control de calidad de PVRA.

Respecto a la radioecología acuática en ríos, puede mencionarse el estudio radioecológico realizado en el estuario de los ríos Tinto y Odiel [38,39] con los siguientes resultados destacables:

- El impacto radiológico de las fábricas de fosfatos es fácilmente detectable en el área. Los vertidos se acumulan preferentemente en sedimentos del lecho del río, presentando ambos ríos niveles enriquecidos de radiactividad natural entre 10 y 15 veces superiores a los de ríos españoles no contaminados.
- Las proporciones de elementos radiactivos naturales son modificadas por el tratamiento ácido mineral de las materias primas realizado en la fábrica, originando diferente comportamiento en la columna de agua.
- El polonio y el plomo se asocian preferentemente a partículas de sedimento menores a 2  $\mu\text{m}$ , las cuales, aunque constituyan un menor porcentaje en la distribución de tamaños, son las más susceptibles de ser resuspendidas y transportadas.

La investigación en radioecología marina, que el Ciemat comenzó en 1985 como parte de la actividad del Proyecto Indalo, se integró desde el principio en el contexto de los Programas Marco europeos. Muy en resumen, las actividades de investigación en este campo se centraron en determinar los niveles de Pu, Am y Cs-137 en los diversos componentes del ecosistema marino y en el estudio de los procesos que gobiernan la distribución, sedimentación y transporte de dichos radionucleidos, determinando la influencia orográfica, las aportaciones fluviales y sus asociaciones geoquímicas [40-45]. La investigación, siempre integrada en proyectos multinacionales y comités internacionales de evaluación (Marina-MED, CRESO-OCDE, OIEA y CIESM), se extendió a otros ecosistemas marinos [46,52] tanto de la plataforma continental mediterránea, como del mar Báltico, el mar de Irlanda o el área del estrecho de Gibraltar. Todo

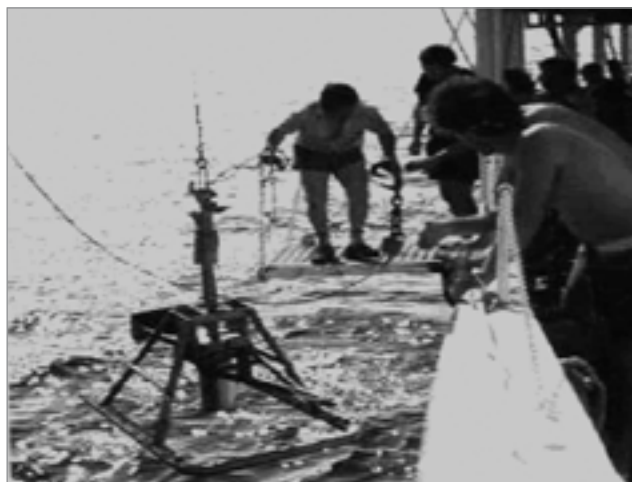


Figura 4. Toma de muestras marinas a bordo de buque oceanográfico.

ello produjo capacidades de actuación en campañas de toma de muestras a bordo de buques oceanográficos (Figura 4) con el consiguiente desarrollo de instrumentos y procedimientos de muestreo, técnicas de separación radioquímica y medida de muy bajos niveles de radiactividad, metodologías de especiación isotópica, etc., siempre sujetas a un sistema riguroso de control de calidad y procesos de intercomparación. Un resumen de los resultados más relevantes obtenidos en este campo se muestra a continuación:

#### *Ecosistema marino de Palomares:*

- Ha habido una transferencia detectable tierra-mar de la contaminación residual producida por el accidente. La contaminación transferida se ha acumulado preferentemente en sedimentos de la plataforma continental localizados en el cañón submarino del río Aguas. Además del potencial depósito atmosférico inmediato tras el accidente, la vía de transferencia ha sido el arrastre por el río, principalmente durante periodos de riada.
- Los niveles de transuránicos en la columna de agua, más elevados, en un factor 2, en aguas próximas a la costa que en aguas profundas, y las relaciones isotópicas confirman el depósito radiactivo estratosférico procedente de la explosión de bombas nucleares en la atmósfera (*fallout*) durante las décadas de 1950 y 1960 como el principal término fuente de los niveles encontrados. La mayor parte del Pu y Am transferido al mar procedente del accidente se encuentra ya depositado en los sedimentos, no encontrándose indicios en la columna de agua.
- Las concentraciones de transuránicos en los diferentes niveles tróficos no difieren de los encontrados en otras zonas del mediterráneo y no indican riesgo radiológico



significativo para la población a través del consumo de productos marinos.

- Se pudo probar la influencia del término fuente de los transuránicos en su asociación geoquímica, estando el Pu y el Am fundamentalmente ligados a la fase residual; el Pu y el Am procedentes del *fallout* están unidos a la materia orgánica y sexquióxidos.

### *Plataforma continental mediterránea española:*

- Se estimó el inventario de radionucleidos de vida larga a lo largo de la plataforma continental mediterránea española, evidenciando la tendencia de estas zonas a acumular material particulado altamente reactivo (Pu y Am).
- Las tasas de sedimentación promediadas, a partir de diferentes modelos matemáticos, proporcionaron información útil sobre la dinámica sedimentaria de los transuránicos: vías de entrada, coeficientes de difusión, tiempos de intercambio y penetración dentro de la columna de sedimento, etc.
- Las áreas afectadas por aportes fluviales presentan procesos de intercambio más intensos y tasas de sedimentación e inventarios más altos.
- El Pu está asociado principalmente a las fracciones orgánica y de óxidos, mientras que el Am no muestra un patrón de asociación definido.

### *Estrecho de Gibraltar:*

- La distribución de Po-210, Pb-210 y Pu en las aguas del Atlántico y Mediterráneo que cruzan el estrecho de Gibraltar difieren significativamente, mientras que las concentraciones de Cs-137 están homogeneizadas en ambos tipos de flujo.
- El Mediterráneo actúa como exportador de Pu hacia el Atlántico con un flujo neto anual de 0,34 TBq a la vez que va enriqueciéndose de forma continuada del Po y Pb transportados por el agua atlántica. En cuanto al Cs, a pesar de las elevadas incertidumbres asociadas, puede afirmarse que el Mediterráneo es un importador de dicho radionucleido.

## **LA RADIOECOLOGÍA EN LA PROTECCIÓN DEL MEDIOAMBIENTE**

En algo más de una década ha habido un cambio sustancial en la postura frente a la protección radiológica del medioambiente, existiendo actualmente consenso internacional sobre la necesidad de demostrar de forma explícita que las especies no humanas están adecuadamente protegidas frente a los potenciales efectos perjudiciales de las radiaciones

ionizantes. A ese cambio ha contribuido, entre otros, el hecho de que en diversos países existan requerimientos legales que obligan a realizar evaluaciones del impacto radiológico en biota no-humana.

La actividad investigadora en los diferentes aspectos relacionados con la protección del medioambiente ha sido muy intensa en la última década tanto en Europa como en el resto del mundo. Así, la Comisión Europea en el 5º y 6º Programas Marco financió, entre otros, los proyectos FASSET (*Framework for Assessment of Environmental Impact*) y ERICA (*Environmental Risk from Ionising Contaminants: Assessment and Management*) en los que participó el Ciemat.

El Proyecto FASSET (2000-2004) tenía el objetivo de desarrollar un sistema para la evaluación del impacto medioambiental de la radiación ionizante en los ecosistemas europeos. Contó con la participación de 15 organizaciones de siete países europeos. El sistema de evaluación desarrollado en FASSET incluía los siguientes elementos principales: caracterización de las fuentes; descripción de los siete ecosistemas europeos principales; selección de un grupo de organismos de referencia; análisis de transferencia en el medioambiente; consideraciones dosimétricas; análisis de efectos; y recomendaciones generales elaboradas teniendo en cuenta todos los aspectos antes mencionados, además de las incertidumbres. El proyecto, además de utilizar la información disponible, desarrolló modelos, mediante cálculos de Monte Carlo y construyó la base de datos FRED (*FASSET Radiation Effects Database*) [53]. Todos los informes y publicaciones realizados en el Proyecto FASSET se encuentran en [54].

El Proyecto ERICA (2004-2007) tenía el objetivo de desarrollar una aproximación integrada, que permitiera asegurar que las decisiones sobre aspectos medioambientales consideraban de manera adecuada la exposición, los efectos y los riesgos de las radiaciones ionizantes en especies no humanas, con un interés especial en asegurar la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas. Para lograr este objetivo se integraron elementos relacionados con la gestión medioambiental, la caracterización de riesgos y la evaluación de impacto en una estructura común, desarrollándose la Herramienta ERICA (ERICA-Tool) como apoyo a la aproximación integrada (Figura 5). La Herramienta ERICA es un programa informático que guía al usuario a través del proceso de evaluación, mantiene registros y realiza los cálculos necesarios para estimar las tasas de dosis a las especies de animales y plantas seleccionadas. La herramienta cuenta con una función de ayuda, que guía al usuario para que haga las elecciones adecuadas (datos a utilizar) e interprete los resultados obtenidos. Además, interacciona con una serie de

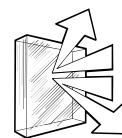


Figura 5. ERICA: Herramienta de evaluación de impacto radiológico en flora y fauna

bases de datos y otras funciones que ayudan a estimar las concentraciones de actividad en medio y en biota, y las tasas de dosis a biota. Igualmente interacciona con la base de datos FREDERICA sobre efectos biológicos de las radiaciones ionizantes [55].

El elemento de "evaluación" de la Herramienta ERICA, está organizado en tres etapas: etapa de cribado, etapa 2 y etapa 3. La evaluación en la etapa de cribado permite determinar si el escenario concreto que se está considerando lleva asociado algún tipo de riesgo para la biota no-humana, en cuyo caso habrá que pasar a la etapa 2 de evaluación, o si por el contrario no supone un riesgo y se puede abandonar la evaluación. Todos los informes y publicaciones realizados en el Proyecto ERICA se encuentran disponibles en [56].

La Herramienta ERICA ha sido utilizada por un gran número de grupos de diversos países para evaluar el impacto radiológico en flora y fauna. En el Ciemat, como parte de las actividades del Proyecto PROMEDIA, se utilizó la Herramienta ERICA para evaluar el posible impacto en la flora y la fauna de la explotación de la instalación de El Cabril, tanto en operación normal, como en las potenciales situaciones accidentales descritas en el informe de seguridad de la instalación. Los resultados mostraron que la explotación en operación normal de la instalación de El Cabril, tiene un impacto despreciable en la flora y la fauna.

En el ámbito de la radioecología en Europa, hay que destacar la creación de la Alianza Europea de Radioecología, cuyo objetivo global es fomentar de una manera sostenible la investigación en Europa en radioecología, mediante la integración de las capacidades, infraestructuras, recursos y experiencia de sus miembros. Aunque la iniciativa surgió de ocho instituciones europeas, entre las que se encuentra el Ciemat se pretende que la Alianza crezca con la incorporación de

todos aquellos grupos o instituciones interesados en apoyar el desarrollo de la radioecología, no sólo de Europa sino a nivel mundial. Una de las primeras acciones llevadas a cabo por la Alianza fue presentar una propuesta a la UE para la creación de una Red de Excelencia en Radioecología (STAR), la cual fue aprobada para su financiación a finales de 2010 y que comenzó en febrero de 2011. En este número monográfico se da detallada información tanto sobre la Alianza Europea de Radioecología como de la Red de Excelencia STAR.

En el ámbito internacional, un hecho muy relevante fue que, en 2005, la ICRP creó un nuevo comité, el Comité 5, cuya misión es desarrollar un sistema específico para la protección radiológica del medioambiente, que sea coherente tanto con el sistema actual de protección radiológica del hombre, como con otros sistemas existentes para la protección del medioambiente frente a otros contaminantes, como pueden ser los productos químicos.

El OIEA ha promovido y coordinado diversos programas, en los que se incluía la protección radiológica del medioambiente. Este es el caso de los Programas EMRAS-I y EMRAS-II (2009-2011), ya descritos en este artículo. El Ciemat participó activamente en el grupo de trabajo sobre efectos de las radiaciones ionizantes en la biota no humana de EMRAS-II, en el que se trataron temas tan interesantes como los efectos de la radiación en combinación con otros contaminantes o factores de estrés, o los modelos dinámicos de poblaciones que, utilizando datos de los efectos observados a nivel de individuo junto con características fisiológicas y del ciclo de vida de la especie a estudiar, permiten evaluar el impacto de la exposición a la radiación a nivel de poblaciones.

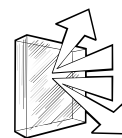
## AGRADECIMIENTOS

La actividad descrita ha estado desarrollada, en la mayoría de los casos, en un amplio contexto nacional e internacional. Ante la imposibilidad de citar explícitamente al gran número de organizaciones, y personas de las mismas, participantes en los diferentes proyectos mencionados, los autores quieren subrayar, de manera general, su reconocimiento a todas ellas. En particular, la colaboración y financiación del CSN y ENRESA en muchas de tales actividades resultaron esenciales para su ejecución y, de ahí, nuestro especial agradecimiento. Finalmente, nuestro agradecimiento también a todas las personas del Ciemat que han participado en los proyectos aquí descritos.

## REFERENCIAS

- [1] L. Ramos, C. Izquierdo, F. Legarda. La vigilancia radiológica en España. En Protección Radiológica en España, número extraordinario conjunto de las revistas de la SEPR, SNE y SEFM. Mayo 2004.

- [2] A. García Olivales, C. E. Iranzo. Resuspension and Transport of Plutonium in the Palomares Area, *J. Environmental. Radioactivity*, 37(1):101-114. 1997
- [3] C.M. Iranzo, A. Espinosa, and J. Martínez. Resuspension in the Palomares area of Spain: A summary of experimental studies. *J. Aerosol Sci.*, Vol 25, No.5, pp. 833-841. 1994
- [4] E. Iranzo, E. Mingarro, S. Salvador, C.E. Iranzo, P. Rivas. Geochemical Distribution of Plutonium and Americium in Palomares Soil, Seminar on the Cycling of Long lived Radionuclides in the Biosphere: Observations and Models. Madrid, Spain, September 15-19. 1986.
- [5] E. Iranzo et al. Distribution and Migration of Plutonium in Soils of an Accidentally Contaminated Environment, *Radiochimica Acta* 52/53:249-256. 1991
- [6] A. Espinosa, A. Aragon, N. Stradling, A. Hodgson and A. Birchall. Assessment of doses to adult members of the public in Palomares from inhalation of plutonium and Americium. *Radiation Protection Dosimetry* Vol 79 Nos 1-4 pp 161-164. 1998
- [7] N. Stradling, A. Hodgson, S.A. Hodgson, T. Fell, E. Iranzo, A. Espinosa, A. Aragon. Dose coefficients and assessment of intake after inhalation of contaminated dusts from Palomares. *Radiation Protection Dosimetry* Vol 79 Nos 1-4 pp 179-182. 1998
- [8] C. Baixeras, J. Gutiérrez, L. Font, B. Robles. Radon indoor survey in the most populated areas in Spain. *Environment International*; vol. 22, Suppl.1. 1996
- [9] P.A. Colgan and J. Gutiérrez. Cost effectiveness of reducing radon exposure in Spanish dwellings. *Journal of Radiological Protection*; vol 16, 1996.
- [10] D. Cancio, J. Gutiérrez, C. Ruiz, A. Sainz. Radiological considerations related to the restoration of a phosphogypsum disposal site in Spain. Proceedings International Symposium on Restoration and Remediation of Radioactive Contaminated Sites in Europe. (Antwerp. October 1993). European Commission, Radiation Protection-74 (Doc.XI-5027/94). 1994.
- [11] Materiales NORM en las centrales térmicas de carbón. Antonio Baeza, David Cancio, José Ángel Corbacho, Juan C. Mora y Beatriz Robles. *Radioprotección*. No 57 Vol XV. 2008.
- [12] Juan C. Mora y Beatriz Robles. Incertidumbres en las evaluaciones dosimétricas de la gestión de NORM en repositorios de residuos convencionales. *Radioprotección*. No 73 Vol. XIX. 2012
- [13] J.M. Martí, G. Arapis and E. Iranzo. Evaluation of the countermeasures applied against nuclear contamination of land. CIEMAT/PRY-MA/GIT/M5A03/-1/89. March 1989
- [14] R. Millán, L. Romero, A. Jouve, Experiencia de rehabilitación de suelos en el escenario Chernobyl. *Radioprotección* No 12. Vol.IV. 1996
- [15] E. Garger et al. Resuspension and deposition of radionuclides under various conditions. EUR 16544 EN (The radiological consequences of the Chernobyl accident). pp 109-120. 1996
- [16] J. Martínez, A. Espinosa, A. Aragón. Resuspension de suelos contaminados por el accidente de Chernobyl. *Radioprotección* No 15. Vol V. 1997
- [17] B. Robles, I. Simón, D. Cancio. Transferencia en sistemas suelo-planta de radionucleidos procedentes de un aerosol experimental. Aspectos de interés para las evaluaciones radiológicas. *RADIOPROTECCIÓN*. N° Extraordinario. Septiembre 1996
- [18] B. Robles, A. Suañez, C. Vázquez. Producciones y consumos de alimentos en España para su aplicación en evaluaciones de impacto radiológico. *Radioprotección*. No 2. 1994
- [19] C. Trueba, R. Millán, T. Schmid, C. Lago y J. Gutiérrez. Estimación de índices de vulnerabilidad radiológica para los suelos peninsulares españoles. Colección Documentos Ciemat. Ed. Ciemat. 147. 2000.
- [20] C. Trueba, R. Millán, T. Schmid. Prácticas agronómicas modificantes de la vulnerabilidad radiológica de los suelos peninsulares. In: Participación del Ciemat en la 27 Reunión Anual de la Sociedad Nuclear Española (01-04). Ed. CIEMAT. 2002
- [21] C. Trueba, R. Millán, T. Schmid, C. Lago. Base de Datos de propiedades edafológicas de los suelos españoles. Ed. CIEMAT. Formato CD-Rom. 2000.
- [22] T. Sauras, V.R. Vallejo, E. Valcke, C. Colle, H. Forstel, R. Millan, H. Jouglét.  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  root uptake prediction under close-to-real controlled conditions. *Journal of Environmental Radioactivity* 45, 191-217. 1999
- [23] C.M. Vandecasteele, S. Baker, H. Forstel, M. Muzinsky, R. Millan, C. Madoz-Escande, J. Tormos, T. Sauras, E. Schulte, C. Colle. Interception, retention and translocation under greenhouse conditions of radiocaesium and radiostrontium from a simulated accidental source. *The Science of the Total Environment* 278, 199-214. 2001
- [24] C. Vázquez, J. Gutiérrez, C. Trueba, M. Savkin. Optimisation of Intervention Strategies for the Recovery of Radioactively Contaminated Environments. Application to two Case Studies: Savichi and Kirov (Belarus). EUR 16544 EN. pp 495-499. 1996.
- [25] J. Gutiérrez, C. Vázquez. Recuperación ambiental post-accidente nuclear. Criterios y estrategias. Aplicación a un caso ejemplo en el escenario Chernobyl. *Radioprotección*. No 17 Vol. VI. 1998
- [26] J. Gutiérrez, C. Vázquez. Aproximación conceptual y funcional al diseño de estrategias de intervención para la recuperación ambiental tras accidente nuclear grave. IAEA-TECDOC-976, "Low doses of ionizing radiation: biological effects and regulatory control". pp 651-654. 1997
- [27] J. Gutiérrez et al. Temas Project. Contract no FI4P-CT95-0021. Final report. Colección Documentos Ciemat. ISBN: 84-7834-378-4. 2000.
- [28] M. Montero, M. Moraleda, F. Claver, C. Vázquez, J. Gutiérrez. Methodology for Decision Making in Environmental Restoration after Nuclear Accidents: TEMAS System (Version 2.1). Documentos Ciemat. 2001.
- [29] EURATOM-CIEMAT Association Contract on Techniques and Management Strategies for Environmental Restoration. Final Report. J. Gutiérrez et al. March 2000.
- [30] <http://www-ns.iaea.org/projects/emras/emras-publications.asp>. (consultada enero 2013)



- [31] E. Carrasco, A. García-Olivares, A. Suárez, B. Robles, I. Simón, D. Cancio. Modelling of the Transfer of Cs-137 from Air to Crops, Milk, Beef and Human Body Following the Chernobyl Accident, in a Location in Central Bohemia. Test of the Model PRYMA\_T1. *Ciemat* 726. 1994.
- [32] F. Carini, C.J. Atkinson, C. Collins, K. Coughtrey, K. Eged, N. Fulker, R. Green, R. Kinnersley, I. Linkov, N.G. Mitchell, C. Murlon, Z. Ould-Dada, J.M. Quinault, B. Robles, A. Stewart, L. Sweeck, A. Venter. "Modelling and experimental studies on the transfer of radionuclides to fruit". *Journal of Environmental Radioactivity*. Vol 84 – 2. 2005.
- [33] Z. Ould-Dada, F. Carini, K. Eged, I. Linkov, N.G. Mitchell, C. Murlon, B. Robles, L. Sweeck, A. Venter. "An International Model-testing exercise on the transfer of radioactivity to fruit". *The Science of the Total Environment*. 366(203). 2006.
- [34] I. Linkov, F. Carini, C. Collins, K. Eged, N.G. Mitchell, C. Murlon, Z. Ould-Dada, B. Robles, L. Sweeck and A. Vente (2006). Radionuclide in fruit system: model-model intercomparison study. *Science of the Total Environment* 364(1-3):124-37.
- [35] <http://www-ns.iaea.org/projects/emras/#top>. (consultada enero 2013)
- [36] <http://www-ns.iaea.org/projects/emras/emras2/default.asp?s=8&l=63>. (consultada enero 2013)
- [37] A. Martínez Aguirre, M. García León, C. Gascó, y A. Travesí. Anthropogenic Emissions of  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{226}\text{Ra}$  in an Estuarine Environment. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Articles. 207,2, 357-367. 1996
- [38] A. Travesí, C. Gascó, M. Pozuelo, J. Palomares, M. R.García, L. P. Villar 1997. Distribution of natural radioactivity within an estuary affected by releases from the phosphate industry. En el libro: *Fresh water and Estuarine Radioecology*. Ed.Desmet et al. pp .279-291 Elsevier Science B.V. ISBN: 0-444-82533-9. 1997
- [39] E. Iranzo, et al. Plutonium, Americium and stable heavy metals in marine sediments. Study of the factors governing the transport from water to the sediment. *EUR 13268 DE/EN/FR*. Volumen 1. 1989
- [40] C. Gascó, E. Iranzo, L. Romero. Transuranics transfer in a Spanish marine ecosystem. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 156, No.1, 151-163 1992.
- [41] C. Gascó, L. Romero, E. Mingarro, A.M. Lobo. Geochemical aspects and distribution of long-lived radionuclides in marine sediments from Palomares. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 161, No.2, 389-400 1992.
- [42] M.P. Antón, C. Gascó, J.A. Sánchez-Cabeza, L. Pujol. Geochemical association of plutonium in marine sediments from Palomares (Spain). *Radiochimica Acta* 66/67, 443-446 1994.
- [43] C. Gascó, M.P. Antón. Influence of the submarine orography on the distribution of long-lived radionuclides in the Palomares marine ecosystem. *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol. 34, No. 2, 111-125. 1997.
- [44] C. Gascó, M.P. Antón, P. Rivas. Man-made radioactivity in the Almanzora gulch and beach-edge of Palomares, Spain". *Radiation Protection Dosimetry*, 58 No.4, 301. 1995.
- [45] C. Gascó, M.P. et al. Procedures to define Pu isotopic ratios characterizing a contaminated area in Palomares (Spain)". *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Vol. 222, No. 1-2, 81-86. 1997.
- [46] M.P. Antón, C. Gascó, L. Romero Global inventory of radionuclides along the Mediterranean continental shelf of Spain. In: *The Radiological Exposure of the Population of the European Community to Radioactivity in the Mediterranean Sea.*, 469-85. ISBN 92-826-8398-2. 1994.
- [47] M.P. Antón, *Dinámica sedimentaria de radionucleidos de vida larga en el litoral mediterráneo occidental*. Colección de la Universidad Complutense de Madrid. Tesis doctoral. 1998.
- [48] C. Gascó, M.P. Antón, M. Pozuelo, J. Meral, A.M. González, C. Papucci, R. Delfanti. Distribution profiles of Pu, Am and Cs in margin sediments from the western Mediterranean (Spanish coast). *Journal of Environmental Radioactivity* 59, 75-89. 2002.
- [49] C. Gascó, M. P. Antón, J. Meral, A. M. González. Participación del Ciemat en estudios de radioecología en ecosistemas marinos europeos. *Publicación Técnica ENRESA no 7*, 86p. 1999
- [50] C. Gascó, M.P. Antón, A.M. González. Geochemical association of transuranics in Svalbard sediments. In: *Proceedings of the 4th International Conference on Environmental Radioactivity in the Arctic*, 216-218. 1999.
- [51] C. Gascó, M.P. Antón, C. Papucci, R. Delfanti, J. Meral, A.M. González. Variación temporal de la concentración de radionucleidos naturales y artificiales en el estrecho de Gibraltar. *Radioprotección*, No. Extraordinario. 2000.
- [52] C. Gascó, et al. Variation of the activity concentrations and fluxes of natural ( $^{210}\text{Po}$  and  $^{210}\text{Pb}$ ) and anthropogenic ( $^{137}\text{Cs}$  and  $^{239,240}\text{Pu}$ ) radionuclides in the Strait of Gibraltar (Spain). *Journal of Environmental Radioactivity* 62/3, 25-46. 2002.
- [53] A. Real, S. Sundell-Bergman, J.F. Knowles, D.S. Woodhead, I. Zinger. Effects of ionising radiation exposure on plants, fish and mammals: relevant data for environmental radiation protection. *J Radiol Prot.* 24(4A):A123-37. 2004
- [54] <https://wiki.ceh.ac.uk/display/rpemain/FASSET>. (consultada enero 2013)
- [55] D. Copplestone, J. Hingston, A. Real. The development and purpose of the FREDERICA radiation effects database. *J Environ Radioact.* 99 (9):1456-63. 2008
- [56] <https://wiki.ceh.ac.uk/display/rpemain/ERICA>.

# Las jornadas de calidad en el control de la radiactividad ambiental y su papel en los programas de vigilancia

Lucila M<sup>a</sup> Ramos  
Consejo de Seguridad Nuclear (CSN)

## RESUMEN

*Desde que se dieran los primeros pasos para la constitución de la red nacional de vigilancia radiológica, a mediados de los años ochenta del pasado siglo, se ha producido un cambio sustancial en el ámbito de la calidad en los laboratorios que realizan medidas de radiactividad ambiental. A este cambio han contribuido significativamente las Jornadas sobre calidad en el control de la radiactividad ambiental, iniciadas en Bilbao en 1998 y cuya VII edición se ha celebrado en Tarragona en 2012. Las Jornadas constituyen una plataforma para el debate de problemas y un elemento impulsor de las actuaciones para su resolución.*

*Como consecuencia de estas actividades se han elaborado numerosas normas y procedimientos que facilitan la normalización de los procesos de medida. Además, se ha constituido un marco para la acreditación, cuyo resultado ha sido el incremento del número de laboratorios acreditados. Sin embargo, quedan aún aspectos por resolver y retos en el ámbito científico, normativo y de acreditación, todo ello enmarcado en una crisis económica que afectará especialmente a los laboratorios financiados con recursos públicos.*

*En este artículo se presentan las Jornadas de calidad y su influencia en los resultados de los programas de vigilancia radiológica ambiental en España.*

## ABSTRACT

*Since the first steps were given, in the mid eighties of last century, for the implementation of a national environmental monitoring network, a significant change on quality assurance matters has taken place in laboratories performing environmental radioactivity measurements. The Conferences on Quality Control in Environmental Radioactivity, first held in Bilbao in 1998 and whose seventh edition took place in Tarragona in 2012, have had a significant contribution to this change. The Conferences provide a platform for discussion of relevant issues in this area and are a driving force for the actions necessary for resolution of the problems posed.*

*As a result of these activities a large number of norms and procedures have been published which are contributing to the standardization of the measurement processes. It has also provided a framework for accreditation, resulting in an increase of the number of accredited laboratories. However there are still unresolved issues and challenges in the scientific field, in policy development and accreditation, all framed in an economic crisis that will particularly affect public funded laboratories.*

*This article presents an analysis of the Conferences on Quality Assurance and its influence on the results of environmental monitoring programs in Spain.*

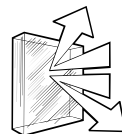
## INTRODUCCIÓN

El interés de la sociedad por las cuestiones medioambientales ha ido en aumento y con él la demanda de mejorar el conocimiento del entorno a través de la medida de sus parámetros característicos. En lo que respecta a la calidad radiológica del medioambiente, es preciso determinar la presencia de radiaciones ionizantes, tanto de origen natural como artificial. Conocido este estado, será posible detectar perturbaciones respecto a las condiciones consideradas como "aceptables" y adoptar medidas si fuera preciso.

La necesidad de determinar los niveles de radiactividad ambiental surgió en España a finales de la década de 1950, como consecuencia de las numerosas pruebas nucleares atmosféricas que estaban llevando a cabo algunos países. Las primeras medidas las realizó la antigua Junta de Energía Nuclear, donde se fueron estableciendo las bases para la creación de una infraestructura para la medida de la radiactividad ambiental, extendiéndose posteriormente a distintos centros y universidades del país.

La vigilancia radiológica del medioambiente exige la determinación de niveles muy bajos de radiactividad en matrices





de naturaleza muy diversa; el proceso analítico puede implicar sucesivas etapas de separación y la aplicación de sofisticadas técnicas de medida en niveles de actividad cercanos a los límites de detección de los sistemas. El resultado final debe garantizar un elevado nivel de confianza que asegure no solo la precisión analítica, sino la exactitud de los métodos analíticos empleados. Así mismo, es necesario que los resultados de los distintos laboratorios que componen los programas de vigilancia radiológica ambiental, sean comparables entre sí y garanticen su trazabilidad al sistema internacional.

La fiabilidad y homogeneidad de las medidas se asegura mediante el establecimiento e implantación de un sistema de calidad homogéneo y de procedimientos normalizados de muestreo y análisis en todos los laboratorios. Las Jornadas de calidad en la medida de la radiactividad ambiental, que desde 1998 se vienen realizando con carácter bienal, han sido uno de los elementos claves en la consecución de estos objetivos.

## **LOS PROGRAMAS DE VIGILANCIA RADIOLÓGICA AMBIENTAL. SISTEMAS DE CALIDAD**

Con el desarrollo de la industria nuclear se implantaron los primeros programas de vigilancia radiológica ambiental en el entorno de las instalaciones, con objeto de detectar y vigilar la presencia de radionucleidos en las distintas vías de transferencia a la población. Al aumentar el número de centrales y con la entrada de nuestro país en la Unión Europea, surgió la necesidad de desarrollar una vigilancia sistemática de ámbito nacional, fuera de las zonas de influencia de las instalaciones. El Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) implantó un sistema de redes de vigilancia, operativo desde 1992, integrado por estaciones automáticas (REA) y estaciones de muestreo (REM).

En la REM colaboran 21 laboratorios en diferentes comunidades autónomas. La participación de un número tan elevado de laboratorios en la vigilancia nacional presenta algunos inconvenientes, tales como la complejidad de la gestión, el elevado coste y dificultades técnicas adicionales, al tener que garantizar la comparabilidad de los resultados obtenidos. Sin embargo, este sistema presenta innegables ventajas, que fueron determinantes en su elección, entre las que cabe destacar la creación de una infraestructura nacional necesaria para hacer frente a cualquier eventualidad y la participación en ella de entidades públicas pertenecientes a las comunidades autónomas, proporcionando una mayor confianza de la sociedad en los resultados, tanto por el carácter público de los laboratorios como por su proximidad geográfica.

En conjunto, el análisis de las muestras procedentes de todos los programas de vigilancia implantados en España proporciona anualmente más de 28.000 resultados [1]. Es evidente que la determinación de estos parámetros debe realizarse con un grado de calidad adecuado, de modo que se garantice la representatividad de las medidas.

### **Primeros pasos para asegurar la calidad de las medidas**

El interés por la calidad de las medias ambientales no surgió espontáneamente, sino como una necesidad asociada a los programas de vigilancia radiológica ambiental de las centrales nucleares e instalaciones del ciclo del combustible nuclear, de modo que a finales de la década de los 80 del siglo XX se inicia el esbozo de un manual de garantía de calidad específico.

En el año 1989 se celebró una primera reunión del CSN y el Ciemat con los ocho laboratorios de medida de baja actividad que realizaban los programas de las instalaciones y el control independiente de estos por el CSN, participando además el Cedex, que desde 1987 venía realizando la vigilancia radiológica de los ríos españoles. En ella se abordaron aspectos relativos a la normalización de métodos, reproducibilidad de las medidas y elaboración de patrones; se debatió sobre el contenido de los programas de Garantía de Calidad de este tipo de laboratorio, a partir del documento "La garantía de calidad en los Programas de Vigilancia Radiológica Ambiental", elaborado por el Consejo. Se destacó, así mismo, la conveniencia de continuar las campañas de intercomparación analítica que desde 1985 organizaba el Ciemat.

En los primeros acuerdos con los laboratorios para el desarrollo de la REM, el Consejo requirió, entre otros aspectos técnicos, la implantación de programas de garantía de calidad, la elaboración de documentos que describieran los procedimientos de medida empleados y la participación en los ejercicios de intercomparación. Los procedimientos aplicados debían ajustarse a unas especificaciones elaboradas por el Consejo, celebrándose reuniones con los laboratorios para establecer pautas comunes en todo el proceso.

En el año 1996 el Consejo definió nuevas bases para el desarrollo del sistema de garantía de calidad conforme a la normativa de la época [2], recogidas en el documento "Propuesta para el establecimiento, implantación y optimización de un sistema de garantía de calidad adaptado a un laboratorio de medidas ambientales de baja actividad", cuya aplicación se requirió a los participantes en la REM en 1997, actualizándose en los acuerdos firmados en el año 2000.

### **Ejercicios de intercomparación y jornadas anuales del CSN**

La medida de la radiactividad en muestras ambientales implica un amplio proceso que incluye la recogida y preparación de muestras representativas, análisis químico por diferentes técnicas, calibración de los equipos de medida y preparación final de la geometría adecuada para la medida según el tipo de radiación. Por tanto, la calidad del resultado final no puede ser evaluada de forma simple, siendo necesario considerar las distintas etapas.

Cada laboratorio debe estimar el nivel de confianza de los resultados obtenidos en la ejecución rutinaria de los análisis, acreditando la suficiente exactitud y precisión en cada determinación analítica. Mientras que la precisión de un resultado puede ser determinada mediante un control interno en el mismo laboratorio utilizando patrones certificados, la determinación de la exactitud requiere tareas muy específicas que pueden desarrollarse por distintos procedimientos, tales como la participación en ejercicios de intercomparación.

Desde 1992 el CSN realiza campañas anuales de intercomparación analítica, continuando la labor iniciada en 1985 por el Ciemat y contando con su apoyo técnico. Las matrices seleccionadas y los radionucleidos estudiados en este tipo de ejercicios son las habituales en los programas de vigilancia radiológica ambiental.

En los ejercicios de intercomparación han participado tradicionalmente, además de los laboratorios que colaboran con el Consejo, otros muchos laboratorios que realizan medidas ambientales de baja actividad. Desde hace algunos años el número de participantes supera la cuarentena y entre ellos se encuentran algunos laboratorios de otros países, como Portugal, Cuba o Francia. Las entidades que organizan este tipo de ejercicios de forma regular, con un carácter abierto y sin costes para los participantes, son reducidas. La Comisión europea promueve también ejercicios periódicos en el marco de los artículos 35 y 36 del Tratado de Euratom, en los que participan unos pocos laboratorios de cada estado miembro. Por todo ello, las solicitudes al CSN para tomar parte en sus ejercicios han ido en aumento.

Los resultados de las campañas de intercomparación nacionales se presentan en las jornadas anuales de vigilancia radiológica ambiental que organiza el Consejo, donde también se debaten temas de actualidad relativos a los programas de vigilancia. En octubre de 2012 ha tenido lugar la edición 19 de estas Jornadas, que constituyen un foro para la discusión y análisis de los problemas y necesidades planteadas. Desde sus primeras ediciones se puso de manifiesto la importancia de normalizar los procedimientos utilizados

en la determinación del contenido radiactivo de las muestras ambientales.

### **LAS JORNADAS DE CALIDAD EN EL CONTROL DE LA RADIATIVIDAD AMBIENTAL**

En este contexto se organizaron las primeras jornadas técnicas sobre "Calidad en el Control de la Radiactividad Ambiental" celebradas en Bilbao, en septiembre de 1998. La organización tuvo su base, como se ha indicado, en los planteamientos realizados en las Jornadas del CSN, correspondiendo la iniciativa a diversos laboratorios, bajo el patrocinio de la Sociedad Nuclear Española y la Sociedad Española de Protección Radiológica, que se incorporó posteriormente.

#### **Organización**

Desde sus comienzos, las Jornadas se plantearon como un foro para la discusión de todos los aspectos relativos a la calidad en la medida de la radiactividad ambiental en los programas de vigilancia desarrollados en España, con una vocación clara de acoger a todos los agentes involucrados y con un espíritu abierto e integrador. Se consideró que su celebración cada dos años permitiría presentar avances en los aspectos planteados y garantizar, al mismo tiempo, la necesaria continuidad. Las reuniones anuales organizadas por el CSN y las diversas actividades de los grupos de trabajo que se constituyeron, permitirían mantener vivas las actividades previstas.

Las sucesivas ediciones se han celebrado en:

- I. Bilbao. ETS de Ingenieros Industriales y de Ingenieros de Telecomunicaciones. Universidad del País Vasco. Septiembre 1998 [3].
- II. Salamanca. Universidad de Salamanca. 30 de noviembre-1 de diciembre 2000 [3].
- III. Valencia. Universidad Politécnica de Valencia. 26-28 de febrero 2003 [4].
- IV. Sevilla. Universidad de Sevilla. 18-20 de mayo 2005 [5].
- V. Jaca. Universidad de Zaragoza. 28-30 de mayo 2008 [6].
- VI. Cáceres. Universidad de Extremadura. 20-23 de septiembre 2010 [7].
- VII. Tarragona. Universidad Rovira y Vigili. 30 de mayo-1 de Junio 2012.

Está previsto que la Universidad de Huelva acoja la edición VIII de las Jornadas en 2014.

Como puede observarse, los anfitriones han sido hasta

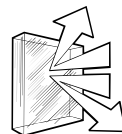


Figura 1. Participantes en las Jornadas.

la fecha los laboratorios de las universidades que realizan medidas de radiactividad ambiental, cuyo personal forma el Comité Organizador. El Comité de Seguimiento se encarga de velar por la continuidad de las Jornadas; su cometido incluye la elaboración de los programas científicos teniendo en cuenta las conclusiones de las jornadas anteriores y las aportaciones y sugerencias de los participantes. Este Comité está integrado por representantes de la SNE, SEPR, CSN, de dos laboratorios y un miembro del Comité Organizador de la jornada anterior.

Las Jornadas se articulan en mesas redondas, programadas de modo que el tiempo dedicado a coloquio y comentarios es equivalente al previsto para las presentaciones, a fin de potenciar un amplio debate sobre los temas planteados. Estas Jornadas constituyen un caso singular, tanto por la elevada participación de especialistas de un único ámbito,

como por el interés en su continuidad y los logros alcanzados. La Figura 1 muestra los participantes en Cáceres.

Como aspectos relevantes en su evolución cabe destacar la incorporación, a partir de la edición de Sevilla, de sesiones dedicadas a jóvenes investigadores, reconociendo la importancia de la formación en este campo y la creación de una cantera de especialistas que garanticen un adecuado relevo generacional. También cabe destacar el tratamiento específico de las técnicas y procedimientos de medida de los isótopos radiactivos de origen natural, tras incorporarse a la legislación española en 2001 el control

de la exposición a la radiación natural [8] y la posterior publicación por el CSN de normativa en este campo [9-11].

El desarrollo de las Jornadas se recoge en publicaciones del CSN y las universidades (Figura 2).

### Agentes

En las Jornadas intervienen agentes muy diversos, la mayoría con una participación constante y otros con una presencia ocasional. Entre los primeros están los propios laboratorios, las centrales nucleares e instalaciones del ciclo, la Sociedad Nuclear Española y la Sociedad Española de Protección Radiológica, AENOR, ENAC y el CSN. Entre los segundos cabe citar la participación de representantes del Ministerio de Sanidad y, en el ámbito internacional, del OIEA, de la Comisión de la UE y algunos países europeos (Francia, Portugal, Cuba).

El número de participantes se ha ido incrementando con los años, pasando de unos 50 a casi 140 ya en las tres últimas ediciones. La diversidad de laboratorios y entidades representadas pone de relieve el interés en considerar la problemática de la calidad bajo todos los ángulos: científico-técnico, normativo y regulador, contando en todos ellos con la experiencia y perspectiva internacionales. Se describe a continuación brevemente el papel de estos agentes.

- **Laboratorios de medida de la radiactividad ambiental.** Son los principales protagonistas de las Jornadas. Desde sus comienzos han participado en las mismas el Ciemat, el Cedex, todos los laboratorios que colaboran con el CSN [1], los que realizan los programas de vigilancia radiológica de las instalaciones nucleares y radiactivas del ciclo del combustible (Medidas Ambientales, Geocisa, Laboratorios de Enusa, en Juzbado y Saelices), otros laboratorios nacionales y alguno internacional.



Figura 2. Publicaciones sobre las Jornadas.

- **Centrales nucleares e instalaciones del ciclo del combustible.** De la vigilancia implantada en España, el mayor número de muestras y análisis corresponden a los programas de las instalaciones, los cuales se desarrollan de acuerdo con las condiciones que establece el CSN en las diferentes fases del licenciamiento y cuyos resultados deben remitir los titulares al Consejo. Todo el proceso está sujeto al sistema de calidad de la instalación, donde se encuadran los procedimientos que son de aplicación, y a un control de calidad específico. En general, las instalaciones se encargan de recoger las muestras que son analizadas por laboratorios propios o externos que deben cumplir todos los requisitos de calidad definidos por el CSN.
- **La Sociedad Nuclear Española y la Sociedad Española de Protección Radiológica.** En Bilbao se consideró oportuno contar con el apoyo de la SNE. A partir de Salamanca, la SEPR se incorporó a las Jornadas, que cuentan desde entonces con el soporte de las dos sociedades profesionales a las que, por la naturaleza de sus actividades, pertenecen muchos de los participantes. Por ambas Sociedades se puso de manifiesto desde el principio su interés en estrechar lazos de una manera efectiva, colaborando en la organización de actividades conjuntas, como estas Jornadas.
- **La Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR).** La integración de las actividades de desarrollo normativo en Comités de AENOR surgió ante la escasez de normativa nacional en esta materia, que se limitaba a tres normas UNE relativas a agua superficial. Adicionalmente, se consideró que disponer de unas normas nacionales resultaría importante para que la práctica y la situación española fueran tenidas en cuenta en la normativa comunitaria.
- **La Entidad Nacional de Acreditación (ENAC).** Los representantes de ENAC han intervenido de forma activa en todas las Jornadas, ya que la acreditación conforme a estándares internacionales [12] se planteó como un tema de interés desde el comienzo. Su participación ha redundado en un beneficio mutuo; los laboratorios han conocido de primera mano los requisitos necesarios para la acreditación, teniendo la oportunidad de discutir de forma conjunta las dificultades de su implantación; para ENAC esta interacción ha supuesto la oportunidad de adquirir experiencia en el campo de la radiactividad y conocer de cerca la realidad de estos laboratorios, algunos de los cuales ya se han acreditado.
- **El Consejo de Seguridad Nuclear.** El CSN ha participado muy activamente en el desarrollo de las Jornadas, que han

constituido una oportunidad única de conocer a fondo la estructura nacional que contribuyó a crear con la implantación de los programas de vigilancia, y de avanzar en los objetivos de calidad requeridos. El Consejo viene ejerciendo una labor de promoción e impulso de estas actividades, mediante su apoyo institucional y la participación activa de sus técnicos en todo el proceso, incluyendo la intervención en las Jornadas, la participación en el desarrollo normativo, y la coordinación con los laboratorios, AENOR, ENAC y otros agentes involucrados.

- **El Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).** El OIEA ha intervenido en varias Jornadas en las que sus expertos en la materia han realizado presentaciones sobre la red de vigilancia de ámbito mundial ALMERA (*Analytical Laboratories for Measuring Environmental Radioactivity*) y sobre el papel del OIEA en la realización y evaluación de los ejercicios de intercomparación.
- **Unión Europea.** Los requisitos de las redes de vigilancia en la Unión Europea tienen su origen en el artículo 35 del Tratado de Euratom, que requiere a los estados miembros implantar sistemas para conocer los niveles de radiactividad ambiental. Dentro de la Comisión, estas actividades se enmarcan en la Unidad de Protección Radiológica de la Dirección General de la Energía, cuyo responsable ha realizado presentaciones en diversas Jornadas sobre los requisitos de la UE y sus avances y novedades.

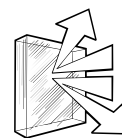
En las jornadas han participado también representantes del Ministerio de Sanidad y de la Junta de Extremadura, analizando aspectos radiológicos de la normativa del agua potable, y del Ministerio de Asuntos Exteriores, informando sobre la red mundial de vigilancia en el Tratado de Prohibición Completa de los Ensayos Nucleares. Responsables en la materia han realizado, así mismo, comunicaciones sobre I+D+i y los programas marcos europeos y expertos franceses han presentado su experiencia desde el punto de vista regulador y de los laboratorios que realizan las medidas.

### **Grupos de trabajo**

En Bilbao se abordaron ya los aspectos clave cuya evolución ha marcado el desarrollo y actividades posteriores:

- Requisitos de los programas de vigilancia radiológica requeridos por la Unión Europea en el Tratado de Euratom y su implantación en España.
- Problemas planteados en la aplicación práctica de los sistemas de calidad: normas de aplicación, tratamiento de incertidumbres y límites de detección, adquisición y preparación de patrones, representatividad y tratamiento de las muestras.





- Acreditación y normalización de laboratorios de medida de baja actividad: situación y perspectivas de futuro en el desarrollo de normas UNE, procedimientos para la acreditación de laboratorios y la trazabilidad en metrología de la radiactividad.
- Sistemas de calidad aplicables a estos laboratorios: Normas ISO, papel del OIEA en este campo, y requisitos establecidos por el CSN a sus laboratorios colaboradores.

Las presentaciones y los debates suscitados pusieron de manifiesto la necesidad de establecer un programa para abordar temas específicos, concretamente los relacionados con los patrones utilizados, el tratamiento de las incertidumbres y el desarrollo de procedimientos. Para ello se acordó crear tres grupos de trabajo. Estos grupos quedaron formalmente constituidos en la jornada anual del CSN en octubre de 1998.

- Grupo I: *Patrones*. Coordinado por el Ciemat, e integrado a lo largo del tiempo por especialistas del propio Ciemat, de la Universidades del País Vasco, Salamanca y Oviedo, del Cedex y de Geocisa. Como objetivo se planteó el desarrollar metodologías para seleccionar, preparar y utilizar patrones de calibración.
- Grupo II: *Incertidumbres*. Coordinado también por el Ciemat, con la participación del Ciemat, Cedex, Geocisa, Enresa y las Universidades de Zaragoza, Málaga y Politécnica de Madrid. La finalidad del grupo fue cubrir la necesidad de disponer de una metodología común para evaluación de incertidumbres en las determinaciones radiactivas.
- Grupo III: *Normas*. Coordinado por el CSN y cuya función sería identificar los campos que precisaban el desarrollo de normas, establecer la prioridad entre ellos, e identificar normas existentes aplicables, todo ello en colaboración con AENOR. Como se trataba de un campo demasiado amplio, se acordó establecer subgrupos:
  - Muestreo, coordinado por la Universidad del País Vasco y constituido por representantes del Cedex, Enresa y las Universidades de Huelva y Valencia.
  - Recepción, preservación y preparación de muestras, coordinado por la Universidad de Extremadura (Cáceres) e integrado por representantes de Geocisa y Ciemat.
  - Métodos analíticos, coordinado por la UP de Cataluña y la Universidad de Barcelona, con la participación de representantes de la Universidad del País Vasco, Ciemat, Cedex, Geocisa y Laboratorio de Medidas Ambientales.
  - Equipos de medida, coordinado por la Universidad de

Valencia y constituido por diversos representantes de Ciemat, Cedex, Enresa y la Universidad de Sevilla.

Cabe destacar la elevada participación de laboratorios en estas actividades, ampliada después a todos los laboratorios que realizan medidas de baja actividad durante el proceso de comentarios de los documentos elaborados, cuya coordinación ha realizado el CSN.

Los trabajos de estos grupos se integraron en el Comité Técnico de Normalización 73 de AENOR. También se consideró de interés participar en foros normativos internacionales para la presentación y defensa de la práctica española recogida en la normativa elaborada. El CSN apoyó económicamente las actividades de los grupos mediante subvenciones.

La idea inicial fue elaborar directamente normas UNE, complementadas con documentos que recogiesen los criterios de decisión adoptados. Tras la publicación de las siete primeras Normas y sus correspondientes procedimientos complementarios, se puso de relieve la importancia de recoger en ellas la experiencia práctica de su aplicación, por lo que se decidió editar primero procedimientos que, tras un periodo de implantación y mejora, se publicasen como Normas.

## DESARROLLO NORMATIVO Y ACREDITACIÓN

Como resultados de todas estas actividades se ha elaborado un importante número de normas y procedimientos cuya aplicación está facilitando la demostración de la competencia técnica de los laboratorios españoles en la medida de la radiactividad ambiental, de modo que el avance puede comprobarse a través del incremento en el número de laboratorios acreditados en los últimos años.



Figura 3. Publicación de procedimientos.



**Tabla I. NORMAS Y PROCEDIMIENTOS PUBLICADOS****Toma de muestras****Normas UNE**

UNE 73311-1:2002 *Procedimiento de toma de muestras para la determinación de la radiactividad en suelos: capa superficial.*

UNE 73320-2:2004 *Procedimiento para la determinación de la radiactividad ambiental. Toma de muestras. Parte 2: Sedimentos.*

UNE 73320-3:2004 *Procedimiento para la determinación de la radiactividad ambiental. Toma de muestras. Parte 3: Aerosoles y radioyodos.*

**Procedimientos CSN**

1.1. Procedimiento de toma de muestras para la determinación de la radiactividad en suelos: capa superficial. CSN, 2003.

1.7. Procedimiento de toma de muestras de aerosoles y radioyodos para la determinación de la radiactividad. CSN, 2005.

1.10. Procedimiento de toma de muestras de sedimentos para la determinación de la radiactividad ambiental. CSN, 2007.

1.12. Procedimiento de toma de muestras de la deposición total para la determinación de la radiactividad. CSN, 2007.

1.14. Procedimiento de toma de muestras de vapor de agua para la determinación de tritio. CSN, 2009

**Conservación y preparación de muestras****Normas UNE**

UNE 73311-5:2002 *Procedimiento para la conservación y preparación de muestras de suelo para la determinación de la radiactividad ambiental.*

**Procedimientos CSN**

1.1 Procedimiento para la conservación y preparación de muestras de suelo para la determinación de la radiactividad. CSN, 2003.

1.8. Procedimiento para la recepción, conservación y preparación de muestras de aerosoles en filtros de radioyodos en carbón activo para la determinación de la radiactividad ambiental. CSN, 2005.

1.11. Procedimiento para la conservación y preparación de muestras de sedimento para la determinación de la radiactividad ambiental. CSN, 2007.

1.13. Procedimiento para la preparación de muestras de agua para determinar la actividad de emisores gamma. Retención de yodo y extracción selectiva de cesio. CSN, 2007.

1.15. Procedimiento para el muestreo, recepción y conservación de muestras de agua para la determinación de la radiactividad ambiental. CSN, 2009.

**Métodos analíticos****Normas UNE**

UNE 73311-4:2002 *Determinación del índice de actividad beta total en aguas mediante contador proporcional.*

UNE 73340-2:2003 *Procedimiento para la determinación de la radiactividad ambiental. Métodos analíticos. Parte 2: Índice de actividad beta resto en aguas mediante contador proporcional.*

UNE 73340-3:2004 *Procedimiento para la determinación de la radiactividad ambiental. Métodos analíticos. Parte 3: Determinación de la concentración de actividad de 89 Sr y 90 Sr en suelos y sedimentos.*

**Procedimientos CSN**

1.5. Procedimientos de determinación de los índices de actividad beta total y beta resto en aguas mediante contador proporcional. CSN, 2004.

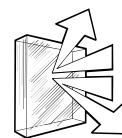
1.6. Procedimiento para la determinación de la concentración de Sr-89 y Sr-90 en suelos y sedimentos. CSN, 2005.

1.9. Procedimiento para la determinación del índice de actividad alfa total en muestras de agua. Métodos de coprecipitación y evaporación. CSN, 2005.

**Evaluación de incertidumbres y Patrones****Procedimientos CSN**

1.3. Procedimiento para la evaluación de incertidumbres en la determinación de la radiactividad ambiental. CSN, 2003.

1.4. Selección, preparación y uso de patrones para espectrometría gamma. CSN, 2004.



## Normas y procedimientos

En la Tabla I se presenta un resumen de la Normas UNE y los procedimientos elaborados, que han sido incluidos en las publicaciones del CSN, dentro de la serie *Vigilancia Radiológica Ambiental* en la Colección Informes Técnicos (Figura 3).

Tras la implantación de estas normas y procedimientos, cuya aplicación requirió el CSN en todos los programas de vigilancia bajo su supervisión y control, se está en condiciones de abordar la revisión de muchos de ellos, recogiendo la experiencia adquirida en su aplicación y corrigiendo posibles deficiencias. Se decidió analizar todos los documentos con más de cinco años de antigüedad para decidir sobre su revisión o el paso a Normas UNE.

En las Jornadas de Tarragona se realizó una presentación sobre la situación de todos los documentos y se propuso un programa de trabajo para abordar esta tarea. El Comité 73 de AENOR, que cuenta con la participación del CSN, ha iniciado ya estas actividades.

También se han elaborado, y están siendo objeto de una amplia discusión, tres procedimientos nuevos sobre medida de los índices de actividad alfa total en agua, cuyo objeto es reducir las incertidumbres asociadas a la aplicación de diferentes métodos en la estimación de este índice, considerando su incidencia en la decisión sobre la potabilidad del agua de consumo humano.

## Acreditación

La idea de la acreditación estuvo presente desde el comienzo de las Jornadas, como pone de manifiesto la participación de ENAC ya en Bilbao. Las dificultades que planteaba el proceso de acreditación, tanto en el ámbito técnico como económico, hacían cuestionable su implantación en pequeños laboratorios. Esto hizo que el CSN no impusiera este requisito en sus acuerdos de colaboración, aunque ha prestado su apoyo y cooperación para avanzar por este camino hasta que el sistema alcanzara la madurez necesaria.

En lo que respecta a los laboratorios universitarios, el proceso de acreditación iniciado por alguno de ellos tras las Jornadas de Bilbao, ha sido seguido por otros muchos. También han obtenido la acreditación algunas entidades públicas y privadas, de modo que actualmente cuentan con la certificación de ENAC los laboratorios que se relacionan en la Tabla II. El alcance, en lo que respecta a número de matrices y ensayos incluidos en la acreditación, varía mucho de unos laboratorios a otros, pudiéndose consultar información al respecto en la página web de ENAC. ([www.enac.es](http://www.enac.es)).

Estas actuaciones han ido proporcionando a ENAC un conocimiento de los procesos implicados en la determinación de la radiactividad que ha dado como resultado su mayor especialización en este ámbito y la creación de un área de protección radiológica. Este conocimiento ha redundado en la optimización de los procesos de acreditación y de sus costes.

El CSN ha colaborado con ENAC y los laboratorios, participando en reuniones técnicas y coordinando las distintas actuaciones. En 2009 ambos organismos firmaron un acuerdo de colaboración, donde se enmarcan los criterios para la acreditación de laboratorios de medida de la radiactividad ambiental, basados en el trabajo realizado por los propios laboratorios y en la experiencia adquirida en su acreditación.

La participación en ejercicios externos de intercomparación es un requisito para lograr y mantener la acreditación. Por ello, uno de los aspectos que el CSN tiene en cuenta en el diseño de sus campañas anuales es atender esta necesidad, elaborando programas plurianuales que consideran las circunstancias de los diferentes laboratorios.

## SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS DE FUTURO

Desde que el CSN diera los primeros pasos para la constitución de la red de vigilancia radiológica ambiental de ámbito nacional, a mediados de los años ochenta del pasado

**Tabla II. LABORATORIOS ACREDITADOS EN LA MEDIDA DE RADIATIVIDAD AMBIENTAL**

<ul style="list-style-type: none"><li>• Universidad del País Vasco</li><li>• Universidad Politécnica de Cataluña. Instituto de Técnicas Energéticas</li><li>• Universidad Politécnica de Valencia</li><li>• Ciemat. Laboratorio de la Unidad de Radiactividad Ambiental y Vigilancia Radiológica.</li><li>• Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX)</li><li>• Universidad de Extremadura (Cáceres)</li><li>• Universidad de Valencia</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Universidad de Barcelona</li><li>• Universidad Rovira i Virgili</li><li>• Instituto Geológico y Minero</li><li>• Instituto Tecnológico "La Marañosa". Área NBQ y Materiales</li><li>• LABAQUA, S.A. Laboratorio de Alicante</li><li>• Enusa Industrias Avanzadas. S.A. Fábrica de Juzbado</li><li>• Investigación y Proyectos Medio Ambiente, S.L. IPROMA.</li></ul>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

siglo, se han producido grandes cambios y notables avances en este campo.

Las Jornadas de calidad en el control de la radiactividad ambiental han contribuido notablemente al desarrollo y evolución de la calidad en los programas de vigilancia. Han potenciado, además, un sistema de comunicación permanente de todos los agentes involucrados, facilitando una discusión abierta de los problemas y una colaboración que contribuye a una mejor comprensión y solución de los retos y dificultades técnicas que se presentan.

Como resultado de todas estas actividades se ha elaborado un importante número de normas y procedimientos que facilitan una normalización de las distintas fases que integran los procesos de medida de la radiactividad ambiental. También se ha avanzado en la constitución de un marco adecuado para la acreditación de los laboratorios que realizan estas medidas, con la firma de un acuerdo de colaboración CSN-ENAC en el que se encuadran los criterios para la acreditación; todo ello ha redundado en un incremento del número de laboratorios acreditados.

La participación de nuestros expertos en comités internacionales está propiciando la incorporación de la práctica española en la normativa internacional.

Por todo lo expuesto, podemos afirmar que España cuenta actualmente con una importante infraestructura nacional de medida de la radiactividad ambiental, basada en una adecuada dotación de los laboratorios, en la formación y experiencia de sus técnicos y en una "cantera" de jóvenes investigadores que garantizarán la continuidad en el futuro.

Sin embargo aún quedan aspectos por resolver que plantean retos relevantes para el futuro en diversos campos, incluyendo el ámbito científico-técnico, el desarrollo normativo y la acreditación, todo ello en el marco de la crisis económica actual que sin duda tendrá una repercusión en la evolución general, pero muy particularmente en los laboratorios universitarios financiados fundamentalmente con recursos públicos.

Es necesario completar el desarrollo normativo, de modo que existan Normas UNE que regulen todos los procesos de la medida de la radiactividad ambiental y que estas sean tenidas en cuenta en la elaboración de normativa europea gracias a la participación de expertos españoles en los diversos comités internacionales.

Por otra parte, el sistema está alcanzado la madurez suficiente para poder plantear con realismo el requisito de la acreditación en todos los laboratorios que participan en los programas de vigilancia que determinan la calidad radiológica del medioambiente en España.

La labor continuada de todos los implicados, laboratorios, titulares de las instalaciones, AENOR, ENAC y CSN, en el marco de las Jornadas anuales del Consejo y de las Jornadas de Calidad en el control de la radiactividad ambiental, representan una garantía en la consecución de estos objetivos.

### REFERENCIAS

- [1] Programas de vigilancia radiológica ambiental. Resultados 2010. CSN. Colección Informes Técnicos. 30.2011. INT-04.26.
- [2] Norma UNE 66-804-89. Directrices para la elaboración del manual de calidad de un laboratorio de ensayo.
- [3] Jornadas sobre calidad en el control de la radiactividad ambiental. Bilbao, septiembre 1998. Salamanca, noviembre 2000. Colección Coediciones. COE-04.03.
- [4] III Jornadas sobre calidad en el control de la radiactividad ambiental. Valencia. 26-28 de febrero de 2003. Editorial UPV. ISBN: 84-9705-637-X.
- [5] IV Jornadas sobre calidad en el control de la radiactividad ambiental. Volumen I y II, Sevilla, 18-20 de mayo de 2005. Universidad de Sevilla. ISBN-10: 84-690-2847-2
- [6] V Jornadas sobre calidad en el control de la radiactividad ambiental. Jaca, 28-30 de mayo de 2008. Colección Coediciones. COE-04.04.
- [7] VI Jornadas sobre calidad en el control de la radiactividad ambiental. Cáceres, 20-23 de septiembre de 2010. Colección Coediciones. COE-04.05.
- [8] Real Decreto 1439/2010, de 5 de noviembre, por el que se modifica el Reglamento de Protección Sanitaria contra radiaciones ionizantes, aprobado por Real Decreto 783/2001.
- [9] Guía de seguridad 11.01. Directrices sobre la competencia de los laboratorios y servicios de medida de radón en aire. CSN – 2010
- [10] Guía de seguridad 11.02. Control de la exposición a fuentes naturales de radiación. CSN – 2012.
- [11] Instrucción del CSN. IS-33. Sobre criterios radiológicos para la protección frente a la exposición a la radiación natural. BOE n 22, de 26 de enero de 2012.
- [12] UNE-EN ISO/IEC 17025. Requisitos generales relativos a la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración. AENOR, Madrid, 2000.

# Estudios radioecológicos en el Centro Nacional de Aceleradores basados en el uso de la Espectrometría de Masas con Acelerador (AMS)

E. Chamizo<sup>1</sup>, J.M. López-Gutiérrez<sup>1,2</sup>, J.M. Gómez-Guzmán<sup>1</sup>,  
F.J. Santos<sup>1</sup>, M. García-León<sup>1,3</sup> y R. García-Tenorio<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup> Centro Nacional de Aceleradores, Sevilla.

<sup>2</sup> Departamento de Física Aplicada I, Universidad de Sevilla.

<sup>3</sup> Departamento de Física Atómica, Molecular y Nuclear, Universidad de Sevilla.

<sup>4</sup> Departamento de Física Aplicada II, Universidad de Sevilla.

## RESUMEN

Desde mediados del año 2006 un sistema compacto de espectrometría de masas con acelerador (AMS) de 1 MV, tipo Tandetron y bautizado como SARA (Spanish Accelerator for Radionuclide Analysis) se encuentra instalado en el Centro Nacional de Aceleradores, Sevilla. Tras un periodo inicial de puesta a punto y de estudio de su capacidad para la detección de los radionucleidos de vida larga <sup>14</sup>C, <sup>10</sup>Be, <sup>26</sup>Al, <sup>129</sup>I e isótopos de plutonio (<sup>239</sup>Pu y <sup>240</sup>Pu) frente a otras técnicas de espectrometría de masas (MS), se han ido abriendo numerosas líneas de investigación en campos tan diversos como la arqueología, la geología, la paleontología, la oceanografía, la dosimetría interna, la astrofísica y la caracterización de residuos radiactivos entre otros. En particular, y basados en la medida de <sup>129</sup>I y de los isótopos de Pu (<sup>239</sup>Pu y <sup>240</sup>Pu) se han realizado desde 2008 numerosas aportaciones en el campo de la radioecología. En este trabajo se resumen y presentan algunas de estas investigaciones radioecológicas, poniendo especial énfasis en mostrar que su realización exige de la aplicación de la técnica AMS para poder lograr sensibilidades y límites de detección imposibles de alcanzar mediante la aplicación de técnicas radiométricas y de espectrometría de masas más convencionales.

## ABSTRACT

Since mid-2006 a compact Accelerator Mass Spectrometry (AMS) of 1 MV, Tandetron type, named SARA (Spanish Accelerator for Radionuclide Analysis) is installed at the National Accelerator Centre in Sevilla. After an initial period, to set-up the equipment and to study its capability to detect the long-lived radionuclides <sup>14</sup>C, <sup>10</sup>Be, <sup>26</sup>Al, <sup>129</sup>I and plutonium isotopes (<sup>239</sup>Pu and <sup>240</sup>Pu) compared to other techniques of mass spectrometry (MS), numerous research lines in fields as diverse as archaeology, geology, palaeontology, oceanography, internal dosimetry, astrophysics and characterization of radioactive waste, among others, have been opened. In particular, since 2008 numerous contributions in the field of Radioecology have been done, based in the measurements of <sup>129</sup>I and Pu isotopes (<sup>239</sup>Pu and <sup>240</sup>Pu). In this article, some of these radioecological researches are summarized and presented, with special emphasis on showing that its accomplishment requires the application of the AMS technique, to be able to achieve sensitivities and detection limits which are impossible to reach when radiometric and mass spectrometry conventional techniques are applied.

## INTRODUCCIÓN

El Centro Nacional de Aceleradores (CNA), sito en Sevilla, es un centro mixto Universidad de Sevilla, Junta de Andalucía, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Se trata de una instalación catalogada como Instalación Científico-Técnica Singular, ICTS, dedicada a la investigación interdisciplinar y equipada con cuatro diferentes aceleradores de iones y un sistema de irradiación fotónica.

En particular, y desde mediados del 2006 el centro se encuentra equipado con un sistema compacto de 1 MV para la aplicación de la espectrometría de masas con acelerador. La técnica de Espectrometría de Masas con Aceleradores (AMS, del inglés *Accelerator Mass Spectrometry*) es una técnica ultrasensible que combina las técnicas de espectrometría de masas convencionales con un acelerador de partículas que permite dotar a las partículas de energías muy superiores a las habituales. Su aplicación fundamental es la detección de

isótopos radiactivos de semivida muy larga y con muy escasa presencia en la naturaleza. En las técnicas de espectrometría de masas (MS) se analizan los componentes de un haz en virtud de su masa y energía, con la idea de cuantificar un tipo de partícula determinada, caracterizada por una masa específica. Para ello se utilizan diferentes filtros cinemáticos, basados en la aplicación de campos eléctricos y magnéticos y en el comportamiento de las partículas cargadas en el seno de los mismos.

La sensibilidad, sin embargo, está limitada por la presencia de partículas con las mismas o muy similares características cinemáticas que la partícula de interés, como por ejemplo moléculas de igual masa o isóbaros. En AMS se obtienen resultados mucho más sensibles debido a sus características más definitorias: a) formación inicial de iones negativos, lo que elimina en ocasiones la presencia de interferentes que no son estables como ión negativo, b) eliminación de moléculas, pues en el propio acelerador se produce un proceso de cambio de carga tras el que las partículas son positivas, y en el que las moléculas se disocian, de modo que los interferentes moleculares se reducen drásticamente, y c) uso de detectores nucleares, pues la mayor energía alcanzada por las partículas permite determinar la energía total de la partícula, o su poder de frenado. Con estos detectores se consigue una distinción isotópica efectiva.

Gracias a estos factores, con AMS se consiguen medidas extremadamente sensibles, varios órdenes de magnitud por encima de las técnicas MS convencionales. Típicamente, las relaciones isotópicas determinadas mediante AMS (isótopo radiactivo/isótopo estable) están entre  $10^{-12}$ - $10^{-15}$ . Los isótopos que habitualmente se determinan mediante AMS son,  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{26}\text{Al}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{41}\text{Ca}$ ,  $^{129}\text{I}$  e isótopos de Pu.

El sistema AMS del CNA, SARA, es un sistema compacto basado en un acelerador Tandem de 1 MV y equipado con imanes de baja y alta energía diseñados especialmente para poder analizar elementos pesados como el  $^{129}\text{I}$  y los isótopos de Pu además de elementos más ligeros como  $^{14}\text{C}$ ,  $^{10}\text{Be}$  y  $^{26}\text{Al}$ . La fuente de iones del sistema está equipada con un carrusel con capacidad para 200 muestras y con un sistema de intercambio de muestras automático, mientras que la detección final de partículas se realiza con una cámara de ionización gaseosa con dos ánodos y con una ventana de nitruro de silicio de 40 nm de espesor. En la referencia [1] se puede encontrar una descripción detallada del sistema en su conjunto.

Tras su puesta a punto y optimización, en SARA se realizan actualmente medidas sistemáticas de  $^{14}\text{C}$ ,  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{26}\text{Al}$ ,  $^{129}\text{I}$  e isótopos de Pu, mientras que se investiga en la optimización

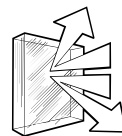
de la medida de otros radionucleidos como  $^{236}\text{U}$  y  $^{41}\text{Ca}$ . Asociado a este sistema experimental, se han abierto numerosas líneas de investigación en campos muy diversos. En este sentido, sin ánimo de ser exhaustivos, citaremos tres casos: a) se ha creado el único servicio de datación de muestras geológicas y arqueológicas por  $^{14}\text{C}$  mediante AMS existente en nuestro país, el cual se encuentra plenamente operativo y muy demandado porque, debido a su sensibilidad, se necesita de una cantidad mínima de muestra a tratar (del orden del mg de carbono), b) en el campo de la dosimetría personal y fruto de la colaboración establecida con el Ciemat se ha optimizado un método de medida de  $^{239}\text{Pu}$  en muestras de orina con unos límites de detección varios órdenes de magnitud inferiores a los obtenidos con técnicas radiométricas convencionales, y c) con la financiación de Enresa, se investiga en la determinación de cantidades trazas de diversos radionucleidos de vida larga en residuos generados en centrales nucleares que se encuentran bien en operación o bien en desmantelamiento.

Ahora bien, una línea de investigación seguida con el sistema AMS, basada en la formación previa del grupo de investigación encargado de su gestión y mantenimiento, es la centrada en la realización de estudios ambientales y radioecológicos. Estos trabajos comenzaron a realizarse con el sistema SARA en el año 2008. Desde entonces, se han realizado variados estudios radioecológicos, basados en los radionucleidos  $^{129}\text{I}$  e isótopos de Pu ( $^{239}\text{Pu}$  y  $^{240}\text{Pu}$ ), algunos de los cuales se resumirán en las secciones posteriores con el objetivo de mostrar tanto la potencia de la técnica AMS como que, para determinados estudios, no puede sustituirse ésta técnica por la utilización de otras técnicas convencionales.

### **ESTUDIOS BASADOS EN EL RADIONUCLEIDO $^{129}\text{I}$**

El  $^{129}\text{I}$  es un radionucleido de origen cosmogénico con un periodo de semidesintegración muy elevado, cuya abundancia en el medioambiente se ha visto alterada considerablemente por las actividades humanas. En la naturaleza, se produce fundamentalmente por interacciones de partículas de alta energía con el Xe presente en la atmósfera y por la fisión espontánea del  $^{238}\text{U}$  y del  $^{235}\text{U}$  en la litosfera. Estos procesos dan lugar a cocientes isotópicos típicos  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$  del orden de  $10^{-12}$  -  $10^{-13}$ . Ahora bien, los tests nucleares atmosféricos realizados fundamentalmente en los años 60 del pasado siglo, el accidente de Chernobyl y fundamentalmente las emisiones tanto líquidas como gaseosas de las plantas de reprocesamiento nuclear han introducido cantidades adicionales no despreciables de  $^{129}\text{I}$  en el medioambiente.





En la actualidad, no se puede asociar al  $^{129}\text{I}$  ningún riesgo radiológico por sus bajas concentraciones en los diversos compartimentos de la naturaleza. No obstante su periodo de semidesintegración nos asegura su presencia en la naturaleza durante mucho tiempo y la necesidad de tenerlo en cuenta en la estimación de dosis colectivas efectivas, así como en la gestión de residuos radiactivos en los que se encuentra presente [2]. Por otra parte, el  $^{129}\text{I}$  ha mostrado ser un trazador de procesos medioambientales muy importante (circulación de corrientes marinas, análisis de procesos atmosféricos, etc.).

El proceso de medida de  $^{129}\text{I}$  y del cociente isotópico  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$  con el acelerador SARA se encuentra totalmente optimizado [3] y se ha aplicado con éxito para la medida de este radionucleido en una gran variedad de matrices naturales (aerosoles, agua de lluvia, agua superficial, agua de mar, vegetales, líquenes, algas, sedimentos, suelos...). La realización de estas medidas ambientales ha conllevado el desarrollo y puesta a punto de diversos procedimientos radioquímicos que permiten aislar y/o concentrar este radionucleido desde la matriz natural, hasta formar una fuente de medida compatible con el sistema experimental. Estos procedimientos suelen ser menos complejos que los necesarios para la utilización de técnicas radiométricas, pues en MS únicamente es esencial la eliminación total de efectos de matriz.

Entre los estudios realizados con el sistema SARA comenzaremos remarcando el realizado para determinar las concentraciones de  $^{129}\text{I}$  y los valores del cociente isotópico  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$  en agua de lluvia recolectada en Sevilla en el intervalo temporal 2005-2008 [4]. Los valores obtenidos tanto para  $^{129}\text{I}$  como para el cociente isotópico indican la influencia de una fuente antropogénica de este radionucleido, que se asoció a las emisiones gaseosas procedentes de las plantas de reprocesamiento de Sellafield y la Hague, al correlacionarse las mayores concentraciones observadas con masas atmosféricas que habían pasado previamente por el área donde se encuentran ambas plantas de reprocesamiento. En las aguas de lluvia mencionadas se obtuvieron cocientes isotópicos  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$  del orden de  $10^9$ , claramente superiores a los valores del  $^{129}\text{I}$  de origen natural.

La influencia a larga distancia de las plantas de reprocesamiento no es ni mucho menos sorprendente. De hecho los resultados anteriores, ratifican las conclusiones obtenidas en un estudio previo en el que se analizó el perfil de concentraciones de  $^{129}\text{I}$  recolectado en una zona sedimentaria de la desembocadura del río Tinto (Huelva) [5]. Dicho testigo se dividió en estratos de 1 cm de espesor y se determinaron

las concentraciones de  $^{129}\text{I}$  (AMS) y  $^{137}\text{Cs}$  (espectrometría gamma) en cada estrato. Los perfiles de concentraciones para ambos radionucleidos se muestran en la Figura 1.

Observando ambos perfiles se pueden identificar tres zonas diferentes: a) Zona I (estratos con una profundidad superior a 62 cm): Esta zona muestra los valores más bajos de  $^{129}\text{I}$  (del orden de  $10^6$  átomos/g) mientras que el  $^{137}\text{Cs}$  no es detectable. Ello se puede asociar a épocas pre-nucleares. b) Zona II (estratos en el intervalo 31-62 cm) : Estos estratos muestran concentraciones superiores que las medidas en la zona I, observándose además picos en los perfiles de  $^{137}\text{Cs}$  y  $^{129}\text{I}$  a la profundidad de 39,5 cm que se pueden asociar a los máximos de las emisiones atmosféricas asociadas a los ensayos nucleares realizados en los años sesenta, y c) Zona III (estratos desde 31 cm hasta la capa superficial): Estos estratos muestran las concentraciones de  $^{129}\text{I}$  más elevadas en todo el testigo, no correlacionadas con las concentraciones de  $^{137}\text{Cs}$  que experimentan un descenso respecto a lo obtenido en la zona II. Estas concentraciones elevadas de  $^{129}\text{I}$  pueden asociarse a las emisiones, fundamentalmente gaseosas, de este radionucleido de las plantas de reprocesamiento europeas: la central de la Hague, cuyas emisiones atmosféricas se incrementaron notablemente desde 1978 y la central de Sellafield, cuyas emisiones atmosféricas se incrementaron notablemente desde principio de los años ochenta del siglo pasado.

Más recientemente y en colaboración con la *Norwegian Radiation Protection Agency* (NRPA) se ha realizado un estudio para evaluar las concentraciones de  $^{129}\text{I}$  en líquenes recolectados en la zona central de Suecia durante los periodos 1961-1965 y 1987-1998 con el fin de analizar el posible impacto tanto de las pruebas nucleares atmosféricas como del accidente de Chernobyl [6]. En los líquenes colectados en el periodo 1961-1965 se obtuvieron cocientes atómicos  $^{129}\text{I}/^{137}\text{Cs}$  en el rango 0,12 – 0,27, indicando la contribución de los ensayos atmosféricos nucleares, mientras que en las muestras colectadas en el periodo 1987-1998 los valores del mismo cociente fueron inferiores por la presencia de  $^{137}\text{Cs}$  con origen en el accidente de Chernobyl. Las concentraciones de  $^{129}\text{I}$  en los líquenes recolectados más recientemente son sólo ligeramente superiores a las concentraciones determinadas en los líquenes de los 60, indicando que este radionucleido no era un componente mayoritario en las emisiones de Chernobyl.

Las concentraciones de  $^{129}\text{I}$  determinadas en los mencionados líquenes se encuentran en el rango 1 -  $15 \cdot 10^8$  átomos/g, o lo que es lo mismo en el rango 0,13 – 2  $\mu\text{Bq/g}$ . Estas concentraciones son inferiores a los límites de detección pa-

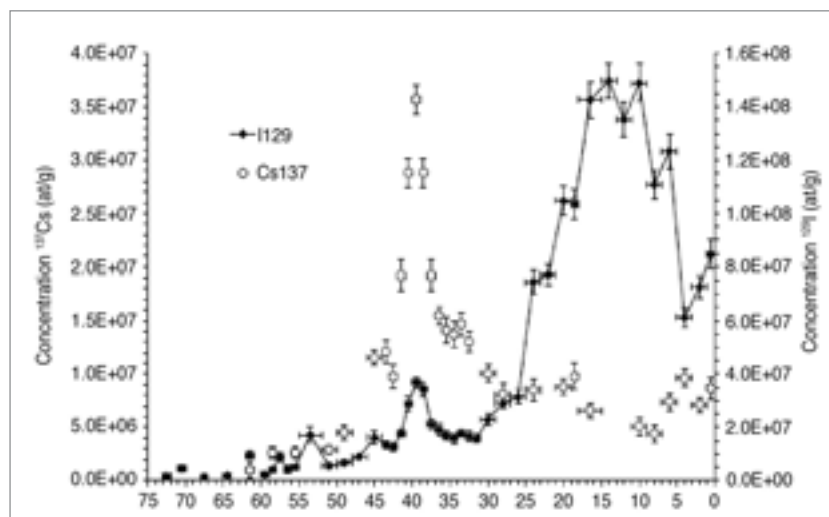


Figura 1: Perfil de las concentraciones de actividad de  $^{129}\text{I}$  y  $^{137}\text{Cs}$  en el testigo sedimentario colectado en el río Tinto (tomada de [5]).

ra la determinación de  $^{129}\text{I}$  mediante técnicas radiométricas e incluso inferiores a los que se pueden obtener con otras técnicas MS. Esto pone de manifiesto la potencialidad de la técnica AMS para la realización de estudios no accesibles mediante técnicas alternativas.

Desde el punto de vista de la distribución espacial interna de  $^{137}\text{Cs}$  y  $^{129}\text{I}$  en los líquenes estudiados, se observó que, mientras para en el caso del  $^{137}\text{Cs}$ , este elemento se concentra principalmente en las capas más aéreas, en el caso del  $^{129}\text{I}$  este tiende a acumularse en las capas más profundas, prácticamente en contacto con el suelo. Esta información tiene una gran importancia desde el punto de vista radioecológico, pues en las zonas más septentrionales escandinavas los líquenes constituyen el primer eslabón en la simple cadena alimenticia líquen.-reno.-hombre, y los renos únicamente se alimentan de las partes más aéreas de los líquenes.

En un estudio independiente y en colaboración tanto con el NRPA como con la Universidad de Lund (Suecia) se han determinado también con el sistema SARA las concentraciones de  $^{129}\text{I}$  y los cocientes isotópicos  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$  en algas *Fucus vesiculosus* tomadas en las costas del sur de Suecia, tanto en su vertiente este como oeste, durante los años 1982 y 1986 [7]. Los valores obtenidos, ponen de manifiesto en primer lugar los altos valores tanto de  $^{129}\text{I}$  como del cociente  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$  en la costa oeste y como estos valores van decreciendo gradualmente hacia el mar Báltico. Ello indica que la más importante contribución de  $^{129}\text{I}$  antropogénico proviene de los vertidos líquidos de las plantas de reprocesamiento nuclear de Sellafield y La Hague. Una cantidad significativa de las descargas de las plantas de reprocesamiento se ha

transferido históricamente al mar del Norte y a las costas danesas hasta alcanzar la costa oeste de Suecia. Sin embargo, solo una fracción minoritaria de las aguas contaminadas se transfiere desde el mar del Norte al mar Báltico.

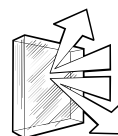
En las determinaciones realizadas en las algas colectadas en 1986, se observaron concentraciones de  $^{129}\text{I}$  que no eran mucho más altas que las obtenidas en las muestras contaminadas colectadas en 1982. Ello ratifica la hipótesis existente indicando que la contribución en  $^{129}\text{I}$  del accidente de Chernobyl fue no significativa en la región Báltica.

Es interesante por otra parte volver a incidir en el hecho de que las concentraciones de  $^{129}\text{I}$  encontradas en las algas analizadas no superaron en ningún caso el centenar de  $\mu\text{Bq/g}$ , valores claramente inferiores a los límites de detección de las técnicas radiométricas alternativas. La sensibilidad de la técnica AMS permitió la realización del estudio aquí reflejado y la obtención de las conclusiones indicadas.

Finalizaremos este apartado indicando que en los últimos meses, en el marco de una colaboración internacional, se han realizado determinaciones de las concentraciones de  $^{129}\text{I}$  en aguas colectadas en el entorno del complejo de centrales nucleares de Fukushima tres meses después del accidente. Y en la actualidad, se están realizando determinaciones de  $^{129}\text{I}$  en aguas del Atlántico con fines oceanográficos, haciendo uso del hecho de que el  $^{129}\text{I}$ , debido a su comportamiento conservativo, puede ser considerado un excelente trazador del movimiento de masas de agua

### ESTUDIOS BASADOS EN LOS ISÓTOPOS DE PLUTONIO $^{239}\text{Pu}$ Y $^{240}\text{Pu}$

En los últimos 60 años, cantidades no despreciables de plutonio se han incorporado a diversos compartimentos ambientales de nuestro planeta con origen fundamentalmente en las pruebas nucleares atmosféricas, accidentes nucleares y los vertidos producidos por las plantas de reprocesamiento de combustible nuclear. El plutonio es un elemento cuyos diferentes isótopos son esencialmente antropogénicos, siendo el  $^{239}\text{Pu}$  (emisor alfa) el que se presenta en mayor proporción en la naturaleza, en niveles en el orden de los femtogramos ( $1\text{ fg} = 2,3\ \mu\text{Bq}$ ). Esos niveles son los que se pueden encontrar por ejemplo en aguas oceánicas por litro de muestra o en la cantidad diaria de orina excretada por persona



de la población general. Adicionalmente, el  $^{240}\text{Pu}$ , también emisor alfa y el segundo en proporción másica incorporado al medioambiente merece una atención especial, pues los valores del cociente  $^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}$  facilitan una información inequívoca sobre el origen del plutonio analizado.

La cuantificación independiente de  $^{239}\text{Pu}$  y  $^{240}\text{Pu}$  en muestras ambientales puede ser únicamente realizada bien aplicando algunas técnicas MS tradicionales (ICP-MS, TIMS, RIMS) o mediante AMS, pues aunque ambos isótopos son emisores alfa, la aplicación de la técnica radiométrica de espectrometría alfa queda condicionada por la muy similar energía de las partículas alfa emitidas por ambos isótopos, y en muchos casos por sus elevados límites de detección (del orden de 0,1 mBq o  $10^8$  átomos de Pu). Por otra parte, entre las diversas técnicas MS, la espectrometría de masas con acelerador, AMS, ofrece la más alta discriminación frente a las interferencias moleculares, haciendo posible el estudio y cuantificación de los isótopos de plutonio,  $^{239}\text{Pu}$  y  $^{240}\text{Pu}$ , en prácticamente todos los diferentes compartimentos ambientales.

El proceso de medida de los isótopos  $^{239}\text{Pu}$  y  $^{240}\text{Pu}$  con el acelerador SARA se encuentra totalmente optimizado [8] y ha sido aplicado con éxito para la medida de este radionucleido en una gran variedad de matrices naturales. La realización de estas medidas ambientales ha conllevado el desarrollo y puesta a punto de diversos procedimientos radioquímicos. Estos procedimientos suelen ser menos complejos que los necesarios de aplicar para la utilización de técnicas radiométricas, debido a la ausencia de efectos de matriz.

Una proporción considerable de los estudios medioambientales y radioecológicos basados en determinaciones de plutonio y realizados en los últimos cinco años utilizando SARA se han centrado en el estudio del cociente isotópico  $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ , al dar éste una información inequívoca sobre la fuente origen de este contaminante antropogénico. En esta línea es necesario comenzar indicando que con base en un contrato de servicio firmado con el Ciemat se procedió a la determinación del cociente isotópico  $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  en una serie de muestras de suelos colectadas en el área afectada por la contaminación remanente del accidente de Palomares. La información obtenida contribuyó a poder realizar una caracterización detallada de la contaminación remanente en la zona con vistas a futuras labores de restauración de la zona afectada.

En colaboración con el OIEA, se ha realizado la determinación del mencionado cociente isotópico en partículas calientes colectadas en una de las zonas más contaminadas

Muestra	$^{239}\text{Pu}$ (Bq)	$^{240}\text{Pu}$ (Bq)	Cociente atómico $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$
HC30c	$45,2 \pm 1,1$	$7,8 \pm 0,3$	$0,047 \pm 0,002$
Tk14	$146 \pm 3$	$26,4 \pm 0,5$	$0,049 \pm 0,001$
Tk 13a	$83 \pm 2$	$16,1 \pm 0,5$	$0,052 \pm 0,002$

Tabla I: Actividades de  $^{239}\text{Pu}$  y  $^{240}\text{Pu}$  (Bq) y valores del cociente atómico  $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  en tres partículas calientes de Semipalatinsk.

de Semipalatinsk, región asiática donde la Unión Soviética realizó un gran número de tests nucleares en los años 60 del pasado siglo. Las denominadas partículas calientes son aglomerados vitrificados conteniendo suelo, resultantes de las explosiones nucleares y enriquecidas en productos de fisión y activación neutrónica. Los resultados obtenidos en el análisis de tres de estas partículas se encuentran recopilados en la Tabla I [9].

Los valores tan bajos obtenidos para este cociente en las tres partículas son típicos de los presentes en material nuclear no explotado "weapon grade plutonium" o liberado en las detonaciones de baja potencia (del orden del kT), por lo que se puede indicar que el Pu presente en las aglomeraciones vitrificadas estudiadas se corresponde con remanente del Pu presente originalmente en los dispositivos nucleares explotados en la zona y que no sufrieron prácticamente alteración en su composición. La información obtenida ha contribuido a caracterizar la contaminación radiactiva de una de las zonas más contaminadas del planeta por radionucleidos antropogénicos.

Asociado al estudio del impacto medioambiental ocasionado por el accidente de Palomares, se procedió en un estudio independiente a la obtención de los perfiles de las concentraciones de  $^{239}\text{Pu}$  y  $^{240}\text{Pu}$  y del perfil del cociente  $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  en un testigo sedimentario colectado en el año 1991 en el cañón submarino del río Aguas en las cercanías de la zona terrestre afectada por el accidente [10]. Los resultados obtenidos para el mencionado cociente isotópico en los primeros 20 centímetros (0,10- 0,11) son inferiores a los valores esperados si el origen del Pu acumulado en esos estratos fueran los tests nucleares atmosféricos o "global fallout" (0,18), pero por otra parte claramente superiores al valor que se podría esperar si el origen del Pu fuera exclusivamente el diseminado en el accidente (0,058). El Pu acumulado en los 20 primeros cm del testigo es una mezcla de las dos fuentes mencionadas, lo que indica inequívocamente que desde la superficie terrestre ha habido transporte de una parte de la contaminación generada en el accidente hacia el mar.

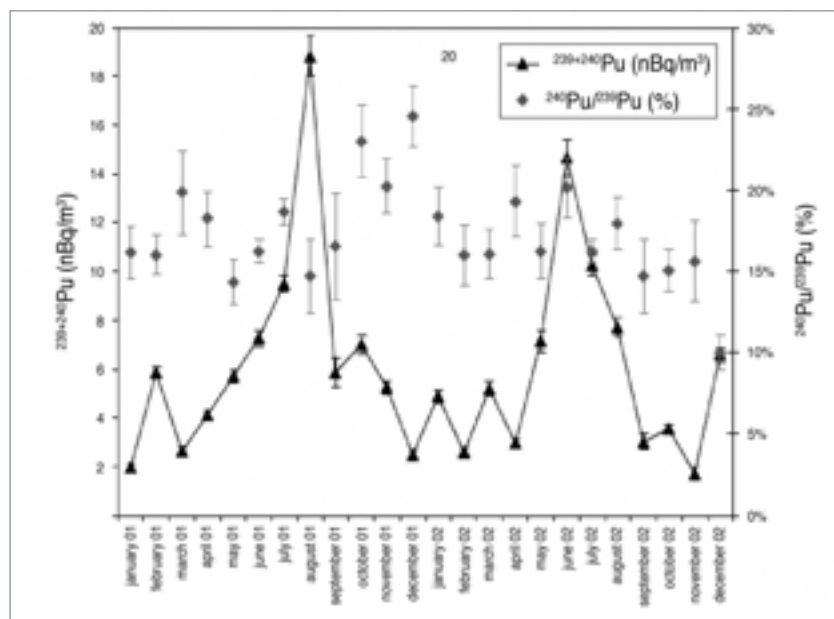


Figura 2: Concentraciones de  $^{239+240}\text{Pu}$  y valores del cociente  $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  determinados en filtros atmosféricos colectados en Sevilla durante el periodo 2001-2002 (tomada de [12]).

Los cocientes isotópicos obtenidos fueron bastante homogéneos por estar fuertemente afectado el testigo sedimentario por efectos de mezcla. A través de un modelo simple se estimó que el 40% del Pu presente en los primeros cm del accidente tenían su origen en el Pu diseminado en el accidente de Palomares. Las concentraciones de actividad de  $^{239}\text{Pu}$  y  $^{240}\text{Pu}$  fueron por otra parte también bastante homogéneas y mucho más altas que las observadas en testigos costeros mediterráneos afectados únicamente por la acumulación de Pu con origen global en las explosiones nucleares. Únicamente se obtuvieron concentraciones de ambos isótopos muy elevadas, y discrepantes entre diferentes alícuotas, en dos estratos del sedimento, indicando la presencia de partículas calientes y ratificando la diseminación de contaminación originada en el accidente de Palomares en la zona costera adyacente.

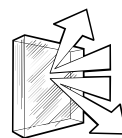
Recientemente, y fruto también de una colaboración internacional, se ha procedido a realizar determinaciones de las concentraciones de actividad de  $^{239}\text{Pu}$  y  $^{240}\text{Pu}$  y del cociente isotópico asociado en muestras de suelos colectados a lo largo de todo Chile [11]. Es bien conocido que el hemisferio sur solo ha recibido alrededor del 20% del Pu global diseminado en el planeta con una contribución importante a nivel regional de los tests nucleares atmosféricos realizados en la Polinesia francesa y en Australia por Francia y Reino Unido, respectivamente.

Los cocientes atómicos  $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  determinados en los suelos chilenos fueron bastante heterogéneos (en el rango de 0,02 a 0,23), indicando que adicionalmente al "global fallout" afectando al hemisferio sur, los suelos situados entre las latitudes 20 y 40°S, estaban afectados en una proporción variable por la deposición de plutonio originado en las pruebas nucleares realizadas históricamente en Mururoa (Polinesia Francesa). En los suelos colectados a latitudes superiores a 40°, los valores de  $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  fueron más homogéneos y totalmente compatibles con los esperados si el "global fallout" es la fuente predominante de estos isótopos en la muestra analizada. La variabilidad observada en los valores del cociente  $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  en el transecto 20-40°S, fue encontrada también en los inventarios de ambos radionucleidos, lo que reafirma la distribución heterogénea de la contaminación procedente de los tests del Pacífico, que estaría gobernada por el régimen de vientos dominantes durante las explosiones y factores como la coincidencia o no de precipitaciones con la presencia de la nube radioactiva contaminada sobre la zona en estudio.

Haremos a continuación referencia al estudio realizado para la determinación de las concentraciones de  $^{239}\text{Pu}$  y  $^{240}\text{Pu}$  y del cociente isotópico  $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  en aerosoles colectados con periodicidad mensual en la atmósfera de Sevilla durante los años 2001 y 2002 [12]. Aunque es bien conocido que desde los últimos tests atmosféricos nucleares realizados por China en 1980 y desde el accidente de Chernobyl en 1986 no se han producido aportes adicionales de estos isótopos a la atmósfera, éstos se encuentran presentes en ella en la actualidad fundamentalmente por la resuspensión de partículas contaminadas previamente. El tener conocimiento sobre los valores de fondo de estos isótopos existentes en las capas bajas de la atmósfera en la actualidad y su posible correlación con algunos trazadores indicativos de la presencia de material mineral resuspendido fueron los principales objetivos de este estudio.

Las concentraciones de actividad de  $^{239}\text{Pu}$  más  $^{240}\text{Pu}$  ( $^{239+240}\text{Pu}$ ) en este estudio alcanzaron valores máximos durante los periodos veraniegos, caracterizados por la ausencia de lluvias, y mínimos durante las estaciones lluviosas, encontrándose estas en el rango de 1 a 20 nBq/m<sup>3</sup> (concentraciones que no podrían haber sido cuantificadas aplicando técnicas radiométricas convencionales) (ver Figura 2). Por





otra parte el valor medio del cociente isotópico  $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  obtenido en el estudio,  $0,18 \pm 0,03$ , es indicativo de que la fuente dominante de estos isótopos en la atmósfera sevillana era "global fallout".

Es finalmente interesante reseñar que se observó la existencia de una buena correlación entre las concentraciones de actividad de Pu en la atmósfera sevillana y los niveles de Al y Ti, que son componentes minerales utilizados como indicativos de la intrusión de polvo sahariano sobre Europa. La hipótesis de la influencia de las intrusiones de polvo sahariano en las concentraciones de Pu observadas en la atmósfera sevillana quedaron ratificadas a través del análisis de las imágenes diarias del *Total Ozone Mass Spectrometer* (TOMS) que son accesibles online en la página web de la NASA, y que informan de la turbidez relativa de la atmósfera a través de un parámetro denominado *Aerosol Index*.

Los estudios reflejados en los párrafos previos de esta sección son sólo ejemplos de la investigación realizado en el campo medioambiental centrada en los isótopos de Pu y en la aplicación de la técnica AMS. Se han realizado también aportaciones por ejemplo en estudios relativos al movimiento de masas de hielo en el Ártico utilizando el cociente isotópico  $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  como trazador [13] y en el estudio de la distribución de  $^{239}\text{Pu}$  y  $^{240}\text{Pu}$  en columnas de turbas escandinavas afectadas por el accidente de Chernobyl

## COMENTARIO FINAL

Los autores de este artículo, en el momento de su diseño y elaboración tenían presentes el cubrir dos objetivos. El primero de ellos el mostrar la potencialidad y sensibilidad de la espectrometría de masas con acelerador (AMS) para la realización de estudios radioecológicos. A través de un resumen de algunas de las investigaciones realizadas en el CNA hemos pretendido cubrir este objetivo. Pero un segundo objetivo, era el intentar motivar a la comunidad científica nacional trabajando en el campo de la radioecología al uso de esta técnica como un complemento que pueda en muchos casos implicar un salto cualitativo en las conclusiones obtenidas en sus investigaciones. El CNA es una institución abierta a colaboraciones que redunden en un incremento de la imagen y el peso de la radioecología española en el concierto internacional. La técnica AMS, una vez que se dispone del sistema experimental de medida, no es ni mucho menos una técnica cara de aplicar y en el caso del CNA ofrece la colaboración de personal científico totalmente formado para la realización de las medidas. Os esperamos.

## REFERENCIAS

- [1] Klein M.G., Mous D.J.W y Gott dang A, "A compact 1 MV multi-elemental AMS system". *Nuclear Instruments and Methods B* 249 (2006) 764.767.
- [2] López-Gutiérrez J.M., Gómez-Guzmán J.M., Chamizo E., Peruchena J.I. y García-León M. "Long-lived radionuclides in residues from operation and decommissioning of nuclear power plants" *Nuclear Instruments and Methods B* 294 (2013) 647-651.
- [3] Gómez-Guzmán J.M., López-Gutiérrez J.M., Pinto-Gómez A.R. y Holm E. " $^{129}\text{I}$  measurements on the 1 MV AMS facility at the Centro Nacional de Aceleradores (CNA, Spain). *Applied Radiation and Isotopes* 70 (2012) 263-268.
- [4] Gómez-Guzmán J.M., Enamorado S.M., Pinto A.R., Abril J.M., López-Gutiérrez J.M. y García-León M. "Anthropogenic  $^{129}\text{I}$  concentration and  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$  ratio in rainwater from Seville (Spain) in the period 2005-2008 as affected by airborne releases from Sellafield and La Hague facilities" *Atmospheric Environment* 56 (2012) 26-32.
- [5] Santos F.J., López-Gutiérrez J.M., García-León M., Synal H.A y San Miguel E.G. " $^{129}\text{I}$  record in a sediment core from Tinto river (Spain)". *Nuclear Instruments and Methods B* 259 (2007) 503-507.
- [6] Gómez-Guzmán J.M., López-Gutiérrez J.M., Holm E. y Pinto Gómez A.R. "Level and origin of  $^{129}\text{I}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in lichen samples (*Cladonia alpestris*) in Central Sweden". *Journal of Environmental Radioactivity* 102 (2011) 200-205.
- [7] Gómez-Guzmán J.M., Holm E., Enamorado S.M., Abril J.M., Pinto A.R. López-Gutiérrez J.M. y García-León M. "Pre- and post-Chernobyl accident levels of  $^{129}\text{I}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in the Southern Baltic sea by brown seaweed *Fucus vesiculosus*" *Journal of Environmental Radioactivity* 115 (2013) 134-142.
- [8] Chamizo E., Enamorado S., García-León M., Suterr M y Wacker L. "Plutonium measurements on the 1 MV AMS system at the Centro Nacional de Aceleradores (CNA)" *Nuclear Instruments and Methods B* 266 (2008) 4948-4954.
- [9] Jiménez-Ramos M.C., Hurtado S., Chamizo E., García-Tenorio R., León-Vintró L. y Mitchell P.I. " $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$  and  $^{241}\text{Am}$  determination in hot particles by low-level gamma-spectrometry" *Environmental Science and Technology* 44 (2010) 6247-4262.
- [10] Chamizo E., Jiménez-Ramos M.C., Enamorado S., García-León M., García-Tenorio R., Más J.L., Masqué P., Merino J., y Sánchez-Cabeza J.A. "Characterization of the plutonium isotopic composition of a sediment core from Palomares, Spain by low-energy AMS". *Nuclear Instruments and Methods B* (2010) 1271-1276.
- [11] Chamizo E., García-León M., Peruchena J.I., Cereceda F., Vidal V., Pinilla E, y Miró C. "Presence of plutonium isotopes,  $^{239}\text{Pu}$  and  $^{240}\text{Pu}$ , in soils from Chile". *Nuclear Instruments and Methods B* 269 (2011) 3163-3168.
- [12] Chamizo E., García-León M., Enamorado S., Jiménez-Ramos M.C. y Wacker I. "Measurement of plutonium isotopes,  $^{239}\text{Pu}$  and  $^{240}\text{Pu}$  in air filter samples from Seville (2001-2002). *Atmospheric Environment* 44 (2010) 1851-1858.
- [13] Cámara-Mor. P., Masqué P., García-Orellana J., Cochran J.K., Más J.L., Chamizo E. y Hanfland C. "Arctic Ocean sea ice drift origin derived from artificial radionuclides". *Science of the Total Environment* 408 (2010) 3349-3358

# Una invitación para contribuir a la agenda estratégica de investigación en radioecología

T.G. Hinton<sup>1</sup>, J. Garnier-Laplace<sup>1</sup>, H. Vandenhove<sup>2</sup>, M. Dowdall<sup>3</sup>, C. Adam-Guillermin<sup>1</sup>, F. Alonzo<sup>1</sup>, C. Barnett<sup>4</sup>, K. Beaugelin-Seiller<sup>1</sup>, N.A. Beresford<sup>4</sup>, C. Bradshaw<sup>5</sup>, J. Brown<sup>3</sup>, F. Eyrolle<sup>1</sup>, L. Fevrier<sup>1</sup>, J.C. Gariel<sup>1</sup>, R. Gilbin<sup>1</sup>, T. Hertel-Aas<sup>6</sup>, N. Horemans<sup>2</sup>, B.J. Howard<sup>4</sup>, T. Ikkäheimonen<sup>7</sup>, J.C. Mora<sup>8</sup>, D. Oughton<sup>6</sup>, A. Real<sup>8</sup>, B. Salbu<sup>6</sup>, M. Simon-Cornu<sup>1</sup>, M. Steiner<sup>9</sup>, L. Sweeney<sup>2</sup> y J. Vives i Batlle<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Francés de Protección Radiológica y Seguridad Nuclear (IRSN, Francia); <sup>2</sup>Centro de Investigación Nuclear Belga (SCK•CEN, Bélgica); <sup>3</sup>Autoridad de Protección Radiológica Noruega (NRPA, Noruega); <sup>4</sup>Consejo de Investigación en Medio Ambiente Natural (NERC, Reino Unido); <sup>5</sup>Universidad de Estocolmo (SU, Suecia); <sup>6</sup>Universidad Noruega de Ciencias de la Vida (UMB, Noruega); <sup>7</sup>Autoridad de Seguridad Nuclear y Radiación (STUK, Finlandia); <sup>8</sup>Centro de Investigaciones Energéticas Medio Ambientales y Tecnológicas (CIEMAT, España); <sup>9</sup>Oficina Federal Alemana de Protección Radiológica (BfS, Alemania).

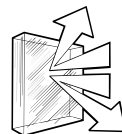
Traducción del artículo "An invitation to contribute to a strategic research agenda in radioecology" publicado en el J. Environm. Radioact. 115:73-82 (2013), realizada con permiso de la revista por Almudena Real (Ciemat).

## RESUMEN

Recientemente ocho organizaciones europeas han creado una Alianza Europea de Radioecología con la intención de integrar parte de sus respectivos esfuerzos en investigación en un programa transnacional y así mejorar la radioecología ([www.er-alliance.org](http://www.er-alliance.org)). La Alianza es una asociación abierta a otras organizaciones del mundo interesadas en promover la radioecología. Los miembros de la Alianza reconocen que su investigación en radioecología mejoraría si se aunaran eficazmente los recursos de sus organizaciones y se priorizaran sus esfuerzos hacia temas comunes de interés mutuo. Un paso importante en este proceso de establecer prioridades fue el desarrollo de la Agenda Estratégica de Investigación (SRA). La Red de Excelencia en Radioecología financiada por la CE, denominada STAR (Strategy for Allied Radioecology), se creó, en parte, para desarrollar la SRA. Este artículo es el primer borrador de la SRA publicado. La SRA propone las prioridades en temas de investigación en Radioecología, con objeto de mejorar la eficacia investigadora y avanzar más rápidamente en esta ciencia. Responde a la pregunta "¿Que temas, si se abordaran de manera crítica en los próximos 20 años, producirían un avance significativo en radioecología?". Los tres retos científicos presentados en la SRA, y sus 15 líneas de investigación asociadas, son una visión estratégica de lo que la radioecología puede lograr en el futuro. Enfrentarse a estos retos requerirá un esfuerzo dirigido y una colaboración con numerosas organizaciones de todo el mundo. Hacer frente a estos retos es importante para el avance de la radioecología y para proporcionar conocimientos científicos a los que toman las decisiones. Aunque el desarrollo del borrador de la SRA ha sido en gran medida un esfuerzo europeo, la expectativa es que inicie un dialogo abierto con la comunidad de radioecología internacional y los grupos interesados. Este artículo es un resumen de la SRA, con el objetivo de presentarla a la comunidad científica y de invitar a que se envíen contribuciones por parte de los grupos interesados. Las críticas y sugerencias dirigidas a mejorar la SRA son bienvenidas y pueden remitirse a través de la página de STAR ([www.star-radioecology.org](http://www.star-radioecology.org)).

## ABSTRACT

With intentions of integrating a portion of their respective research efforts into a trans-national programme that will enhance radioecology, eight European organisations recently formed the European Radioecology ALLIANCE ([www.er-alliance.org](http://www.er-alliance.org)). The ALLIANCE is an Association open to other organisations throughout the world with similar interests in promoting radioecology. The ALLIANCE members recognised that their shared radioecological research could be enhanced by efficiently pooling resources among its partner organizations and prioritising group efforts along common themes of mutual interest. A major step in this prioritisation process



was to develop a Strategic Research Agenda (SRA). An EC funded Network of Excellence in Radioecology, called STAR (Strategy for Allied Radioecology), was formed, in part, to develop the SRA. This document is the first published draft of the SRA. The SRA outlines a suggested prioritisation of research topics in radioecology, with the goal of improving research efficiency and more rapidly advancing the science. It responds to the question: "What topics, if critically addressed over the next 20 years, would significantly advance radioecology?" The three Scientific Challenges presented within the SRA, with their 15 associated research lines, are a strategic vision of what radioecology can achieve in the future. Meeting these challenges will require a directed effort and collaboration with many organisations the world over. Addressing these challenges is important to the advancement of radioecology and in providing scientific knowledge to decision makers. Although the development of the draft SRA has largely been a European effort, the hope is that it will initiate an open dialogue within the international radioecology community and its stakeholders. This is an abbreviated document with the intention of introducing the SRA and inviting contributions from interested stakeholders. Critique and input for improving the SRA are welcomed via a link on the STAR website ([www.star-radioecology.org](http://www.star-radioecology.org)).

## INTRODUCCIÓN

La radioecología es una rama de las ciencias medioambientales interesada en los radionucleidos como contaminantes y en la radiación como factor de estrés. Los estudios radioecológicos constituyen la base para estimar exposiciones, dosis y consecuencias de la contaminación radiactiva en el medioambiente, incluyendo los riesgos para el hombre. El estudio de la radiactividad ambiental incluye aspectos comunes a otros grupos de contaminantes (transporte medioambiental, destino y efectos en humanos y biota no humana), así como aspectos específicos de los radionucleidos (términos fuente especializados, rutas de irradiación externa, dosimetría de radiaciones, decaimiento radiactivo y aspectos únicos de medida). La experiencia en radioecología es necesaria siempre que haya un motivo de preocupación por la radiación presente en el medioambiente y se requiera una evaluación de los riesgos potenciales. Por ejemplo, la radioecología es importante cuando se evalúan los riesgos derivados del ciclo de combustible nuclear, incluyendo el almacenamiento de residuos nucleares; en el debate de los efectos de exposiciones crónicas a niveles bajos; y en respuesta a emergencias en las que están implicados materiales radiactivos, tales como accidentes nucleares o actos terroristas.

Para hacer frente a cuestiones emergentes en radioecología en Europa, ocho organizaciones<sup>1</sup> firmaron en 2009 un Memorando de Entendimiento para crear la Alianza Europea de Radioecología<sup>2</sup> (la Alianza). La Alianza es una

asociación abierta a otras organizaciones del mundo que tengan intereses similares de promover la radioecología. El Memorando manifiesta las intenciones de los miembros de la Alianza de integrar parte de sus respectivos esfuerzos de investigación en un programa transnacional que mejorará la radioecología. Los miembros de la Alianza reconocen que su investigación compartida en radioecología puede verse fortalecida si se ponen en común de manera eficaz los recursos entre sus organizaciones asociadas, y dando prioridad a los esfuerzos del grupo hacia temas comunes de interés mutuo. Un paso importante en este proceso de establecer prioridades era desarrollar una Agenda Estratégica de Investigación (SRA, del inglés *Strategic Research Agenda*). La red de excelencia en radioecología financiada por la CE denominada STAR (*Strategy for Allied Radioecology*)<sup>3</sup> se creó para, entre otras tareas, desarrollar la SRA.

Este manuscrito es el primer borrador de la SRA publicado en una revista científica<sup>4</sup>. Es una propuesta de las prioridades en los temas de investigación en radioecología, con el objetivo de mejorar la eficacia investigadora y de avanzar más rápidamente en la ciencia. La SRA responde a la cuestión: ¿Qué temas, si se abordaran en profundidad durante los próximos 20 años, producirían un avance significativo en radioecología?

Los tres retos científicos de la SRA y sus 15 líneas de investigación asociadas son una visión estratégica de lo que la radioecología puede lograr en el futuro a través de un esfuerzo dirigido y la colaboración de muchas organizaciones. Se trata de una visión en la que se pidió a los participantes pensar de manera creativa y sin límites, cómo imaginaban los resultados que podrían conformar el futuro

<sup>1</sup>Instituto Francés de Protección Radiológica y Seguridad Nuclear (IRSN, Francia); Autoridad de Seguridad Nuclear y Radiación (STUK, Finlandia); Centro de Investigación Nuclear Belga (SCK•CEN, Bélgica); Consejo de Investigación en Medio Ambiente Natural (NERC, Reino Unido); Centro de Investigaciones Energéticas Medio Ambientales y Tecnológicas (CIEMAT, España); Oficina Federal Alemana de Protección Radiológica (BfS, Alemania); Autoridad Sueca de Seguridad Radiológica (SSM, Suecia); Autoridad de Protección Radiológica Noruega (NRPA, Noruega).

<sup>2</sup> [www.er-alliance.org](http://www.er-alliance.org)

<sup>3</sup> [www.star-radioecology.org](http://www.star-radioecology.org)

<sup>4</sup>Esta frase hace mención al trabajo original publicado en el *Journal of Environmental Radioactivity*, cuya traducción se presenta en este artículo de RADIOPROTECCIÓN.

de la radioecología y beneficiar a los grupos interesados. La realidad es que la SRA requerirá una cantidad considerable de recursos y de tiempo para llevarla a buen término. El "cómo", los recursos y la factibilidad de lograr los temas de investigación presentados en la SRA, se desarrollarán en un documento posterior que perfilará la "hoja de ruta" requerida para lograr esta visión. La hoja de ruta unirá la SRA con la evolución de la ciencia, proporcionando los planes de acción necesarios, la asignación de recursos e hitos requeridos para llevar a cabo la SRA. La hoja de ruta será una versión más extensa de la SRA y está previsto que esté disponible en enero de 2014.

A pesar de que el desarrollo de la SRA ha sido en gran medida un esfuerzo europeo, la expectativa es que inicie un diálogo abierto en la comunidad internacional de radioecología. STAR está buscando la opinión de:

- La comunidad científica de radioecología mundial;
- La industria;
- El Consejo Asesor Externo de STAR;
- Las organizaciones internacionales [por ejemplo, la Organización Mundial de la Salud (OMS); el Comité Científico de las Naciones Unidas sobre los Efectos de la Radiación Atómica (UNSCEAR), la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), el Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA)];
- La Unión Internacional de Radioecología (IUR);
- Otras Plataformas pan-europeas sobre temas de investigación que requieren de la radioecología [MELODI (*Multidisciplinary European Low Dose Initiative*), NERIS (*European Platform on Preparedness for Nuclear and Radiological Emergency Response and Recovery*); IGD-TP (*Implementing Geological Disposal of Radioactive Waste Technology Platform*)];
- Otras redes de radioecología en el mundo [por ejemplo, NCoRE (*National Center for Radioecology*), en los Estados Unidos de América]; y
- Los grupos interesados.

Este es un artículo que resume la SRA con la intención de presentarla y de invitar a que los grupos interesados contribuyan. Las críticas constructivas y sugerencias para mejorar la SRA son bienvenidas, pudiendo realizarse a través de la página electrónica de STAR ([www.star-radioecology.org](http://www.star-radioecology.org)).

### **¿Cómo se ha desarrollado la Agenda Estratégica de Investigación?**

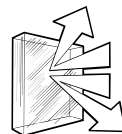
La SRA se destiló de los intereses de STAR y de las organizaciones que son miembro de la Alianza. Se realizaron diversas evaluaciones sobre el estado de la radioecología,

incluyendo las aportaciones de los grupos interesados [1] y de la Unión Internacional de Radioecología ([www.iur-uir.org/en/](http://www.iur-uir.org/en/)); también se evaluó la información sobre las necesidades en investigación, ausencia de datos y recomendaciones para el futuro de la radioecología, o de su ciencia aliada, la ecotoxicología [2-17].

Adicionalmente, la SRA se formuló considerando diversos aspectos relacionados con:

- *Cambios recientes en el alcance*: ahora se reconoce que las ciencias radioecológicas deben ser capaces de demostrar de manera explícita la protección del medioambiente, en lugar de hacerlo de manera implícita mediante la protección de la personas [18-20]. Por ejemplo, el informe de la OCDE/NEA [11] "Temas científicos y desafíos emergentes para la protección radiológica", manifiesta específicamente que: "El sistema actual de protección radiológica, no habiendo sido diseñado para este propósito, es una herramienta débil para demostrar el nivel de protección radiológica proporcionado al medioambiente".
- *Nuevos paradigmas y avances científicos*: los cambios recientes relevantes para los efectos de la radiación en humanos, también son relevantes para radioecología, y van más allá del dogma previo de la teoría del blanco único para supervivencia celular, como único modo por el que puede tener lugar la muerte celular. Se están incorporando nuevas ideas a la ciencia, tales como los efectos vecindad, la epigenética, la inestabilidad genómica y las consecuencias a nivel de población de exposiciones durante múltiples generaciones. Adicionalmente, la radioecología del futuro necesitará aprovecharse de los rápidos avances en las ciencias de la proteómica y la genómica para ayudar a desarrollar explicaciones mecanísticas y biomarcadores de alerta temprana.
- *Mejorar la credibilidad con los grupos interesados*: las incertidumbres y la falta de poder predictivo de las evaluaciones de riesgo son las principales causas de la reducida credibilidad que tiene el público en las ciencias radioecológicas. La credibilidad en los modelos de evaluación es de particular importancia ya que sus predicciones son con frecuencia constituyentes clave en la toma de decisiones en respuesta a una emergencia, la gestión de residuos, la remediación medioambiental y en litigios [2]. A menudo, la mayoría de estas incertidumbres se originan a partir de un conocimiento inadecuado del comportamiento medioambiental de los radionucleidos [21]. La adquisición de nuevos conocimientos científicos a través de la investigación en radioecología es por tanto un elemento crucial para mejorar las evaluaciones de riesgos para humanos y





biota no-humana, y de ese modo mejorar la credibilidad frente a los grupos interesados.

- *Deficiencias científicas:* los contaminantes no aparecen de forma aislada, como han mostrado históricamente los protocolos experimentales, sino que ocurren como bajas concentraciones de mezclas complejas. Así, son necesarios cambios en nuestras aproximaciones experimentales para abordar el importante tema de si la protección radiológica necesita ser considerada en el contexto de escenarios con múltiples contaminantes.
- *Necesidades de integración:* el éxito de la radioecología en el futuro, definido de manera global como lograr cubrir las necesidades de los grupos interesados, requerirá la integración mediante la adopción de una aproximación del ecosistema más holística y la integración de los servicios ecológicos y las evaluaciones de riesgo medioambiental; integrar los sistemas de ayuda a la decisión y utilizar análisis multi-criterio en la toma de decisiones para mejorar la gestión post-accidente; e integrar la información radioecológica con datos de otras disciplinas científicas para optimizar las opciones de gestión.
- *Futuros riesgos potenciales:* los accidentes en Three Mile Island, Chernobyl y Fukushima han mostrado que los errores humanos pueden anular los dispositivos de seguridad; que las consecuencias pueden ser más serias de lo esperado; y que acontecimientos con una probabilidad extremadamente baja de que ocurran pueden suceder. Acontecimientos futuros pueden conllevar la liberación al medioambiente de radionucleidos diferentes de aquellos para los que en la actualidad tenemos más conocimiento. Además, los ataques terroristas en las últimas décadas han demostrado que los grupos terroristas tienen tanto la intención como la capacidad para atacar áreas urbanas. Así, acciones tales como un ataque a instalaciones nucleares, o el uso de bombas sucias que contengan radionucleidos más exóticos que el cesio pueden representar desafíos futuros para la radioecología.
- *Primeras lecciones de Fukushima:* desde el accidente de Chernobyl, se han realizado importantes avances en la modelización de las liberaciones atmosféricas, tal y como se hizo evidente por lo bien que los modelos actuales predijeron el transporte a gran distancia y la dinámica de la pluma desde Fukushima. Sin embargo, los modelos atmosféricos de campo cercano y el modelo terrestre de transferencia basado en el equilibrio, no predijeron la variación significativa y la rápida dinámica de intercepción, translocación y movilidad del cesio depositado que ocurrió en Fukushima. Además, existe una considerable

incertidumbre en cuanto a cuáles son los impactos marinos y los periodos de recuperación en los ambientes cercanos a la costa. Las transferencias de radionucleidos en los bosques contaminados, la erosión de los suelos contaminados y los problemas técnico/sociales de eliminar grandes cantidades de materiales destruidos por el tsunami y que ahora están contaminados con radionucleidos, siguen siendo problemas sin resolver. Estos ejemplos enfatizan de nuevo la necesidad de mejorar los modelos de transferencia y de exposición a partir de un entendimiento más profundo de los procesos medioambientales.

Basándose en la consideración de los temas arriba mencionados, la SRA da prioridad a tres grandes retos científicos a los que se enfrenta la radioecología. Cada uno de estos retos científicos se desarrolla como una sección separada de la SRA e incluye una declaración de la visión de lo que debe llevarse a cabo en los próximos 20 años en esa área de la radioecología, además de ofrecer un programa de líneas de investigación principales, consideradas necesarias para llevar a cabo la visión. Hacer frente a estos retos es importante para el futuro de la radioecología y para proporcionar conocimientos científicos adecuados a los que toman las decisiones y al público.

### **TRES RETOS CIENTÍFICOS EN RADIOECOLOGÍA**

***Reto 1: predecir de una manera más robusta la exposición de humanos y especies no-humanas, mediante la cuantificación de procesos clave que influyen en la transferencia de radionucleidos, e incorporando el conocimiento en nuevos modelos dinámicos***

Uno de los objetivos fundamentales de la radioecología es predecir las transferencias medioambientales de los radionucleidos y la exposición resultante en el hombre y la biota no humana. El problema es que los procesos clave que rigen el comportamiento de los radionucleidos no siempre se entienden bien, lo que lleva a modelos que representan de manera incompleta (o incluso errónea) estos procesos. El reto al que se enfrentan los radioecólogos es identificar los procesos clave, mejorar la comprensión de ellos e incorporarlos en los modelos, de tal manera que estos últimos predigan de forma más realista el comportamiento de los radionucleidos. Haciendo modelos que estén más basados en los procesos, esperamos: (a) una reducción significativa en las incertidumbres del modelo, (b) una mejor cuantificación de la variabilidad medioambiental, (c) identificar los parámetros que tienen más influencia, y (d) desarrollar herramientas de

modelización mejoradas, capaces de predecir la exposición a radionucleidos de humanos y biota no-humana bajo una variedad de condiciones, lo que mejorará las evaluaciones de exposición a radiación para humanos, flora y fauna.

Por lo tanto, nuestra Visión Estratégica para la investigación sobre factores de transferencia y exposiciones es que durante los próximos 20 años la radioecología habrá logrado una profunda conceptualización mecanística de los procesos de transferencia de radionucleidos en los principales ecosistemas (terrestre, acuático, urbano) y será capaz de predecir con precisión la exposición de humanos y biota no-humana, incorporando una comprensión más profunda de los procesos ambientales.

Será necesario abordar cuatro líneas de investigación para lograr esta visión.

### ***Identificar y representar matemáticamente los procesos clave que contribuyen significativamente a la transferencia ambiental de radionucleidos y a la exposición resultante de humanos y biota no-humana***

Un reto para los radioecólogos durante las próximas dos décadas es llegar a comprender suficientemente los procesos de transferencia ambiental y de exposición, de tal manera que se puedan explicar las observaciones realizadas y puedan hacerse predicciones precisas. Actualmente, los modelos radiológicos de evaluación están dominados por las relaciones empíricas [22, 23] y son herramientas pragmáticas ya que han facilitado la modelización de la transferencia de radionucleidos y las predicciones de exposición resultantes en humanos y biota no-humana. Sin embargo, su uso aumenta significativamente la incertidumbre de las predicciones hechas con el modelo. El uso de relaciones empíricas simples para representar la transferencia entre los compartimentos medioambientales, significa que se agregan muchos procesos físicos, químicos y biológicos en un parámetro, lo que es una debilidad implícita de la aproximación cuando se requiere una comprensión detallada de los procesos y de las dinámicas del sistema.

El desarrollo de modelos basados en los procesos, menos dependientes de las relaciones empíricas, inevitablemente reducirá la incertidumbre asociada a la modelización de la transferencia de radionucleidos en el medioambiente. Los diferentes parámetros de los modelos empíricos deberían sustituirse por ecuaciones matemáticas que describan los procesos físicos, químicos y biológicos clave que rigen la transferencia de radionucleidos. Deben incorporarse propiedades específicas de los radionucleidos y componentes bió-

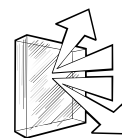
ticos y abióticos de cada medioambiente. El resultado sería más realista, con modelos más precisos para la evaluación del impacto radiológico, aumentando la confianza en el proceso de evaluación cuando se apliquen estos modelos.

Uno de los principales aspectos de este reto será identificar donde se puede obtener la mayor ventaja en (a) reducir incertidumbres y entender la variabilidad, (b) justificar la investigación adicional necesaria para poder parametrizar modelos mecanísticos dinámicos, e (c) identificar el nivel de complejidad del modelo necesario para escenarios de exposición específicos.

### ***Adquirir los datos necesarios para parametrizar los procesos clave que controlan la transferencia de radionucleidos***

Obtener los datos para la parametrización del modelo requerirá realizar investigación de laboratorio y estudios de campo, así como revisiones de la información publicada por la comunidad científica. La escasez de datos es una de las principales fuentes de incertidumbre incluso para el modelo de equilibrio más simple. Recientemente el OIEA ha recopilado los valores de los parámetros para la estimación de la transferencia de radionucleidos, lo que ha permitido identificar las principales deficiencias existentes en los datos [23]. Para numerosos elementos, sólo se dispone de los factores de transferencia suelo-planta para el 10% de las combinaciones planta-suelo posibles. La escasez de datos aumenta con los niveles tróficos y las fases de la cadena alimentaria humana. Para aproximadamente el 50% de las combinaciones necesarias radionucleido-producto animal, no existen datos sobre los coeficientes de transferencia [23].

También hay una necesidad de considerar aproximaciones alternativas para hacer frente a este problema. La amplia gama de radionucleidos, de alimentos para el consumo humano y (especialmente) de especies de animales y plantas significa que, pragmáticamente, puede que nunca estemos en posición de tener datos empíricos de todos ellos. Se han sugerido algunas aproximaciones para extrapolar los datos entre especies, tales como las relaciones filogenéticas (es decir, usar "ancestros comunes" para categorizar la transferencia) o alométricas (dependiente de masa), así como la extrapolación a través de la tabla periódica usando análogos químicos. Otras aproximaciones, tales como la estadística bayesiana, permiten utilizar un número reducido de observaciones empíricas, apoyándose en inferencias realizadas desde una base de datos más completa y comprensible.



**Desarrollar modelos de transferencia y exposición que incorporen interacciones físicas, químicas y biológicas, y permitan hacer predicciones espacial y temporalmente**

Los modelos de transferencia desarrollados deben ser capaces de integrar contaminantes radiactivos en las dinámicas generales de los sistemas ecológicos. Un ejemplo de ello es utilizar modelos de transporte suelo-vegetación-atmósfera acoplados al contaminante (SVAT del inglés *Soil-Vegetation-Atmosphere Transport*) para investigar los patrones más amplios de circulación a largo plazo de sustancias en la interfase geosfera-biosfera. Otro ejemplo es la unión de la dispersión costera de corto alcance con las dinámicas de movimiento de largo alcance del agua y el sedimen, o para identificar el destino de los radionucleidos en el medioambiente marino, como parte de los patrones de circulación oceánica global inducidos por el clima. Además, hay que considerar a los impulsores del cambio global, tales como la variación climática y la evolución de los cambios hidrológicos y el uso de la tierra, ya que éstos influirán el transporte, el destino y los efectos de los radionucleidos en el medioambiente. Otros ejemplos en los que debe mejorarse nuestra comprensión de los procesos son el comportamiento de los radionucleidos en interfase (por ejemplo atmósfera-superficie del agua, tierra-costa, cuencas-cursos de agua dulce, salino-agua dulce, geosfera-biosfera, óxido-anóxico) y la influencia de co-contaminantes en el comportamiento de los radionucleidos.

Los modelos de exposición de flora y fauna y su dosimetría también necesitan avances importantes. Se necesitan mejoras para reducir las incertidumbres dominantes en la dosimetría de la biota no-humana, mediante la incorporación de aspectos espaciales y temporales de los animales dentro del medioambiente contaminado y considerar como las características del ciclo vital de las especies alteran el potencial de exposición y de la dosis resultante. Durante diversas etapas de la vida, los procesos dinámicos pueden cambiar muchas características de un organismo, como el peso, la ingesta de alimentos, el metabolismo y la concentración interna del contaminante. Además, las fuentes de alimentos y el hábitat también variarán. Estos cambios influyen en la cantidad de contaminante incorporado y/o en los niveles de irradiación externa. Modelizando la exposición de manera dinámica y mecánica, estos cambios pueden ser tenidos en cuenta. Mediante la introducción de modelos de heterogeneidad espacial será posible tener en cuenta los movimientos del organismo (por ejemplo, estrategias de forrajeo, migración, creación de madrigueras o nidos, en función de las etapas del ciclo vital). La movilidad de un organismo en un área contaminada de

forma heterogénea contribuirá significativamente a la variación en la exposición observada entre individuos.

La radioecología está particularmente subdesarrollada en el análisis de las interacciones de sustancias con los seres vivos a nivel de la membrana, así como en la consideración de la biocinética de sustancias incorporadas al organismo que conduce a su distribución, asimilación y eliminación dependiente del tiempo. Una expectativa es que sea posible combinar los procesos de circulación, metabolismo y eliminación con la toxicocinética y por consiguiente comprender los efectos de los contaminantes radioactivos que siguen las mismas rutas de distribución que sus homólogos no radiactivos.

**Representar la transferencia de radionucleidos y la exposición a nivel de escenario o de medioambiente global, con una indicación de la incertidumbre asociada**

Esta línea de investigación es necesaria para diseñar e implementar una interfaz, fácil de utilizar, del GIS (*Geographic Information System*) con los modelos dinámicos de nuevo desarrollo. Una interfase con el GIS facilitará el mapeo de la transferencia y exposición de radionucleidos a nivel de escenario y ayudará a identificar áreas medioambientales radiosensibles. Una interfase GIS puede incluir valores de referencia (valores de fondo geoquímicos o antropogénicos) y por tanto proporcionar un medio útil para evaluar el nivel de exposición. También podrían incorporarse y visualizarse los cambios en las condiciones de exposición sufridas por los animales, ya que atraviesan y utilizan diferentes hábitats con contaminación heterogénea, para mejorar nuestra comprensión de las condiciones de exposición y, como resultado, reducir las incertidumbres en las evaluaciones medioambientales. Se pueden vincular los mapas temáticos de diferentes variables terrestres, tales como el uso del suelo, tipo de suelo, índice de área foliar y coeficiente de cultivo, clima local, etc., a los datos del transporte de radionucleidos. Dicho sistema permitirá predicciones de exposición ambiental sólidas a distintas escalas, permitiendo una visualización avanzada de las complejas interacciones entre los radionucleidos y las distintas propiedades y procesos medioambientales. El sistema también facilitaría la comunicación con los grupos interesados.

En la Figura 1 se representan aspectos claves del Reto 1.

**Retos 2: determinar las consecuencias ecológicas en las condiciones realistas en las que los organismos están expuestos**

Durante los últimos 15 años, los esfuerzos internacionales se han centrado en nuevas estrategias para proteger el

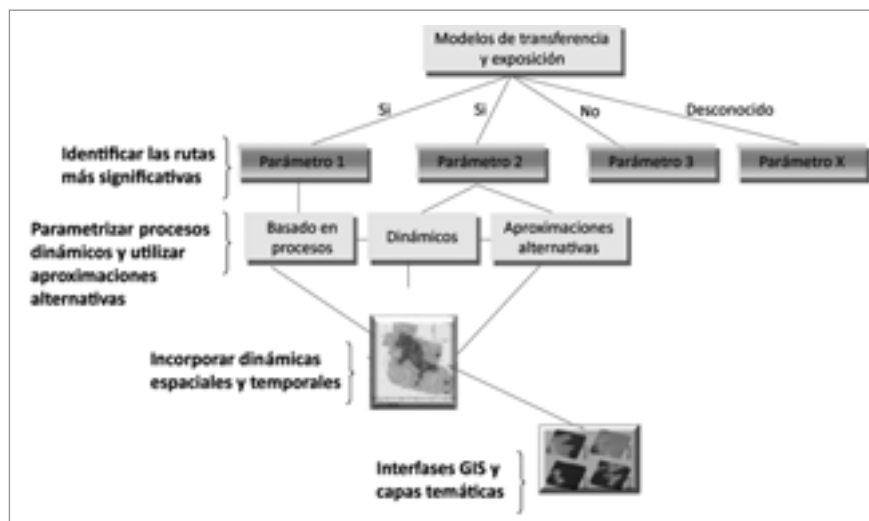


Figura 1. Esquema de aspectos clave del Reto 1: Predecir la exposición de humanos, flora y fauna de una manera más sólida mediante la cuantificación de procesos clave que influyen la transferencia de radionucleidos, e incorporando el conocimiento en nuevos modelos dinámicos.

medioambiente de las sustancias radiactivas. Por ejemplo, en Europa se ha realizado un trabajo considerable para recopilar información relevante de los efectos de las radiaciones ionizantes en especies no-humanas, recogida en la base de datos FREDERICA [24] y produciendo valores de cribado ecológicos, necesarios para implementar una aproximación en etapas de evaluación de riesgo ecológico (ERA, del inglés *Ecological Risk Assessment*) (FASSET [25], ERICA [13], PROTECT [26]). Si bien la aproximación de tipo ERA supone un avance sustancial en radioecología, el no disponer de suficientes datos impide que los actuales análisis ERA rindan cuentas de las condiciones ambientales realistas a las que los organismos están expuestos. Por ejemplo, los datos siguen siendo insuficientes para tener en cuenta los efectos de dosis bajas, regimenes de tasa de dosis variable, escenarios con múltiples contaminantes, variación en la sensibilidad de las especies a la radiación debidas a rasgos del ciclo vital o efectos a nivel de ecosistema. Esta falta de conocimientos se solventa mediante extrapolaciones y el uso de factores de evaluación (o factores de seguridad) que añaden conservadurismo y aumentan las incertidumbres en las evaluaciones de riesgo.

Están surgiendo nuevas aproximaciones para comprender y evaluar los efectos de la radiación en especies no humanas; fundamentalmente debido a las similitudes que tiene la radioecología con la ecotoxicología de las sustancias químicas, la ecología de factores de estrés [27] y la radiobiología de humanos. Las aproximaciones enfatizan que para determinar

de forma adecuada los efectos de cualquier contaminante debemos abordar las condiciones ambientales realistas en las que los organismos están realmente expuestos. Debemos relacionar la exposición con los efectos bajo condiciones realistas que incorporen factores abióticos naturales (por ejemplo cambio climático, temperatura, inundaciones, nieve o hielo) y factores bióticos (por ejemplo, estado fisiológico y del ciclo vital del organismo, procesos ecológicos como competición, prelación y efectos indirectos).

En consecuencia, nuestra Visión Estratégica para la investigación de los efectos medioambientales, es que durante

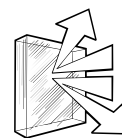
los próximos 20 años la radioecología habrá adquirido un profundo conocimiento mecanístico de los procesos por los que la radiación produce efectos a distintos niveles de organización biológica, incluyendo las consecuencias en la integridad del ecosistema, y será capaz de predecir con precisión los efectos que se producirán bajo las condiciones realistas en las que los organismos están expuestos.

Será necesario abordar cinco líneas de investigación para alcanzar esta visión.

**Entender mecanísticamente los procesos que relacionan los efectos producidos por la radiación en especies no humanas, desde el nivel molecular al nivel de individuo de complejidad biológica**

Esta línea de investigación debe identificar características moleculares/celulares y del individuo clave, que dirijan los efectos inducidos por la radiación a nivel de individuo. El uso de métodos analíticos avanzados de biología molecular es una aplicación pionera en radioecología (por ejemplo, [28]) y cuando éste se suma a la aproximación de biología de sistemas [29], representa una gran promesa para mejorar nuestra comprensión de los mecanismos implicados en las respuestas inducidas por radiación a los niveles subcelulares y sus consecuencias para los individuos. Se implementarán diversas aproximaciones, tales como “-omics” y biomarcadores específicos de sistema. Además, se desarrollarán modelos Biocinéticos/DEB (*Dynamic Energy Budget*) acoplados, para comprender como funciona el metabolismo a nivel de individuo tras una irradiación. La teoría DEB [30] ofrece un marco sencillo y consistente para entender los efectos de los contaminantes sobre el crecimiento, la reproducción y la supervivencia de una manera integrada.





### ***Entender que causa las diferencias en radiosensibilidad intra e inter-especies (ej. entre tipos celulares, tejidos, estadios del desarrollo, ciclos vitales, características ecológicas)***

Esta línea de investigación debe poner en relieve las principales causas de las diferencias de radiosensibilidad existentes entre diversas especies y dentro de una misma especie. A pesar de que los mecanismos fundamentales por los que la radiación produce daños parecen ser universales, las respuestas individuales a la exposición varían tremendamente, dependiendo de factores como el tipo de radiación (variación de hasta un factor 50), exposición aguda frente a crónica (variación de uno o dos órdenes de magnitud), tipo celular, tipo de efecto, estado del desarrollo, especie (variación de hasta 6 órdenes de magnitud), y nivel de organización biológica [31]. Algunos de los parámetros generales que se sabe que determinan la sensibilidad de un organismo a radiación son: el contenido de ADN en la célula (volumen cromosómico medio); la eficacia y tipos de mecanismos de reparación del ADN; la capacidad de repoblación celular; y la capacidad de los tejidos y los órganos de regenerarse (revisión en [32]). Más recientemente, *Fuma* y *colaboradores* han combinado la masa del ADN nuclear y la distribución de sensibilidad de las especies para derivar dosis peligrosas para anfibios expuestos de forma aguda a radiación y para establecer valores de referencia para los efectos radioinducidos [33]. Una combinación de los conceptos de filogenia y homología, tal y como existe en toxicología comparativa, podría apoyar a la extrapolación entre especies de los efectos producidos por exposición a radiación.

### ***Entender las interacciones entre los efectos producidos por las radiaciones ionizantes y otros co-contaminantes***

Es necesario realizar investigaciones para comprender los efectos de la radiación en el contexto de mezclas de contaminantes y múltiples factores de estrés. La exposición a múltiples factores de estrés puede modular, directa o indirectamente, los efectos de la radiación. Los múltiples factores de estrés proporcionan un ejemplo de la disparidad entre los protocolos experimentales para estudiar los efectos biológicos y la realidad de las condiciones de exposición. El medioambiente está contaminado con bajas concentraciones de mezclas complejas (ej. radionucleidos, metales, pesticidas, disruptores endocrinos). La exposición a múltiples contaminantes es la regla, no la excepción [34]. El estudio de un contaminante aislado es necesario y proporciona información crítica sobre el mecanismo subyacente que resulta en efectos detectables. Sin embargo, el peligro y la falta de

realismo al estudiar los contaminantes aislados, es que no se puede predecir las posibles interacciones entre los muchos factores de estrés a los que los organismos están expuestos. Las interacciones pueden producir efectos protectores y reducir el daño total, o aumentar los efectos de manera sinérgica. La investigación sobre las potenciales interacciones entre los factores de estrés debe basarse en sus modos de acción y sus dianas celulares a nivel molecular (ej. estrés oxidativo, genotoxicidad).

### ***Entender los mecanismos implicados en las respuestas multi-generacionales a exposiciones ecológicamente relevantes a largo plazo (ej. efectos maternos, efectos heredables, respuesta adaptativa, inestabilidad genómica y procesos epigenéticos)***

Se necesita una estrecha conexión con la ecología evolutiva para estudiar las respuestas adaptativas y la modulación de los efectos tras exposición a radiación de múltiples generaciones. Es crucial comprender los efectos a largo plazo de la radiación sobre las características fenotípicas y genéticas de las poblaciones para evaluar los riesgos de una degradación de la población y sus consecuencias para el mantenimiento tanto de la biodiversidad genética como de la biodiversidad de especies.

### ***Entender como los efectos de la radiación se combinan en un contexto ecológico más amplio a niveles superiores de organización biológica (dinámica de poblaciones, interacciones tróficas, efectos indirectos a nivel de comunidad y consecuencias para el funcionamiento del ecosistema)***

Es probable que comprender y considerar las diferencias en los rasgos del ciclo vital entre especies reduzca las incertidumbres actuales en la predicción de los efectos de la radiación en una población de animales o plantas. Además, el desarrollo de modelos de poblaciones y de ecosistemas capaces de integrar los efectos de la radiación con la dinámica de poblaciones supondrá un avance sustancial en el tema. Es esencial evaluar las consecuencias de las sustancias radiactivas en la integridad ecológica (es decir, estructura, composición y función) para optimizar la gestión de los recursos del ecosistema (agua, bosque, agricultura), así como otros bienes naturales y servicios proporcionados a la sociedad.

Nuestro conocimiento de los efectos de la radiación (y protección radiológica) está basado casi enteramente en experimentos con especies individuales, mientras que en la realidad las especies están expuestas como parte de un conjunto de múltiples especies. En el medio silvestre, las especies que



se encuentran en el mismo medioambiente son expuestas de manera diferente a la radiactividad debido a su hábitat, comportamiento y régimen de alimentación específicos. Las especies también tienen diferente sensibilidad a la radiación. En un ecosistema, esto significa que las diferentes respuestas de las especies a la radiación también alterarán las interacciones entre especies y pueden afectar cosas tales como la competencia o las interacciones depredador-presa o parásito-hospedador. Esto llevará a efectos secundarios que cambiarán la estructura, composición y función de la comunidad. Estos efectos secundarios indirectos pueden tener un impacto en la población mayor que los efectos directos de la radiación. Estas cuestiones han sido poco estudiadas en radioecología, y para el caso en ecotoxicología, debido en parte a la complejidad de estudiar múltiples especies en conjunto en el laboratorio o desentrañar la complejidad en estudios de campo. Sin embargo, una serie de experimentos utilizando microcosmos ha demostrado claramente tales efectos indirectos (ej. [35, 36]), y algunos estudios de campo realizados en Chernobyl también apuntan en esa dirección [37].

La propagación de los efectos desde los individuos a las poblaciones depende de las características específicas del ciclo vital individual. Independientemente del factor de estrés o del tipo de contaminante, la gran mayoría de los datos ecotoxicológicos describen efectos sobre rasgos individuales de los organismos. La mayoría de los estudios sobre radiación ionizante han examinado los efectos a nivel celular, de tejido o de individuo. Como se ha demostrado para productos químicos, los efectos observados a estos niveles pueden propagarse de tal manera que tengan consecuencias a niveles superiores de organización biológica (población, comunidad, ecosistema) (ej. [38, 39]). Sin embargo, muy pocos estudios han medido efectos a niveles superiores. Unos pocos han intentado extrapolar los efectos observados en individuos a lo que podría ocurrir en la población utilizando modelos de dinámica de poblaciones [40-42]. Estos modelos son un método valioso, infrutilizado, para predecir los efectos de factores ambientales de estrés, y por lo tanto se incluyen en esta SRA como una necesidad de que sean explorados más a fondo en radioecología.

En la Figura 2 se representan aspectos claves del Reto 2.

### ***Retos 3: Mejorar la protección del hombre y de especies no humanas mediante la integración de la radioecología***

El paradigma de una ruta contaminante-medio individual está cambiando hacia una visión holística integrada del

medioambiente como un todo. La posición de la radioecología respecto a este cambio en el paradigma puede mantenerse mejor adoptando el concepto de integración-integración de los sistemas y métodos subyacentes de protección del hombre y del medioambiente y la integración de la radioecología con otras disciplinas científicas. Por lo tanto el éxito futuro de la radioecología, definido en sentido amplio como hacer frente a las necesidades de los grupos interesados, requerirá diversas maneras de integración y desde diferentes perspectivas.

En consecuencia, nuestra Visión Estratégica para la Integración de la Radioecología es que a lo largo de los próximos 20 años, la investigación en radioecología desarrolle una base científica para la integración holística de la protección del hombre y del medioambiente, así como sus sistemas de gestión asociados.

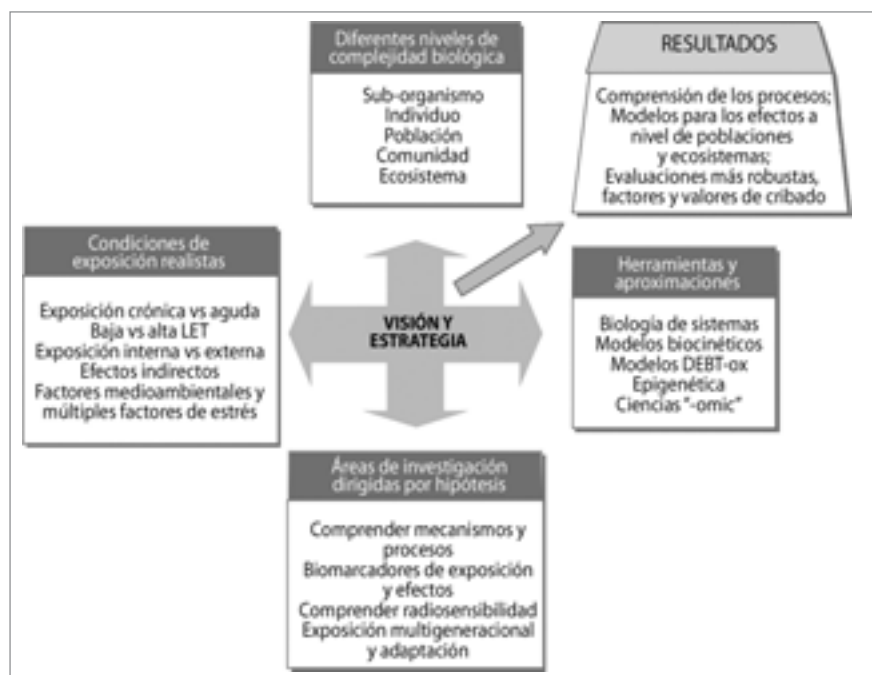
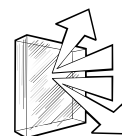
Para alcanzar esta visión será necesario trabajar en seis líneas de investigación.

#### ***Integrar las incertidumbres y la variabilidad de la modelización de la transferencia, la evaluación de exposición y la caracterización de los efectos, en la caracterización del riesgo***

La caracterización del riesgo es el último paso del proceso de evaluación de riesgo, ya que integra información de los dos pasos anteriores: evaluación de exposición y caracterización de los efectos. Así, las evaluaciones de riesgo deben tener en cuenta simultáneamente: (a) la variabilidad de las dosis, dependiendo de la variabilidad espacial y temporal en la transferencia de radionucleidos, así como la heterogeneidad de comportamiento entre las especies expuestas, y (b) la variabilidad en radiosensibilidad entre especies, incluyendo la dependencia del género y del estado del desarrollo. Las mejoras en las evaluaciones de riesgo, y el aumento de la confianza en sus resultados, requieren que el Reto 3 integre todas las fuentes de variabilidad y sus incertidumbres asociadas en un cálculo único.

#### ***Integrar los sistemas de protección del hombre y del medioambiente***

Durante la última década, se ha reconocido la necesidad de demostrar explícitamente la protección del medioambiente frente a los efectos de la radiación [19]. Se ha realizado un esfuerzo significativo en este sentido y actualmente está emergiendo un sistema de protección del medioambiente, junto con las herramientas necesarias para estimar la exposición, evaluar el riesgo y demostrar la protección [13]. Sin embargo, en algunas áreas importantes, las metodologías



### **Integrar los sistemas de evaluación de riesgo para radiación ionizante y productos químicos**

Los radionucleidos, y el riesgo que representan para el hombre y el medioambiente, por lo general ocurren como parte de un conjunto complejo de co-contaminantes y otros factores de estrés, como se ejemplifica en los vertidos de residuos de industrias nucleares y no nucleares, los sitios con contaminaciones complejas y las liberaciones como resultado de accidentes. Existe desde hace tiempo una falta clara de comprensión sobre las mezclas de contaminantes que incluyen materiales radiactivos. La investigación en radioecología, integrada con otras disciplinas y dirigida hacia una mejor comprensión de los efectos de mezclas, así como la adaptación de

los métodos para la evaluación de riesgos con el objetivo de predecir los efectos de las mezclas, hará posible determinar si los criterios de protección radiológica son sólidos en un contexto de múltiples contaminantes.

### **Proporcionar una perspectiva multi-criterio en apoyo de una toma de decisiones optimizada**

Las aproximaciones de gestión en situaciones de exposición planificada, existente y de emergencia, pueden ir desde la más simple, pasando por niveles ascendentes de complejidad y detalle. El principal impulsor de la investigación en radioecología en las próximas décadas es la necesidad de disponer de aproximaciones de gestión graduales e integradas, y de las herramientas para implementarlas para manejar el espectro completo de posibles efectos de la exposición, así como para asegurar la productividad y el beneficio social de las áreas afectadas. Los recientes acontecimientos de Fukushima en Japón ejemplifican estos problemas y las deficiencias existentes. Intrínsecamente ligado a esta necesidad está la exigencia de una ciencia rigurosa, fundamental y progresiva que respalde y aproveche al máximo estos esfuerzos.

Aunque el primer motivo para elegir las opciones de gestión en situaciones de exposición a radiación siempre será la reducción o prevención de la dosis, el problema es inherentemente multifactorial e involucra a numerosos grupos interesados. Existen necesidades importantes en otros sectores, economía, infraestructuras, servicios sociales, que

Figura 2. Esquema de los componentes y los resultados esperados de la agenda estratégica de investigación relacionados con el Reto 2: Determinar las consecuencias ecológicas en las condiciones realistas en las que los organismos están expuestos.

para humanos y otras especies difieren. Este problema se agrava debido a que las evaluaciones en humanos y en otras especies no son complementarias en términos de cómo se llevan a cabo. Las diferencias causan dificultades a los operadores, grupos interesados y reguladores. La integración de los dos sistemas de protección radiológica, tanto en términos de su filosofía subyacente como de su aplicación práctica mediante sistemas y herramientas adecuadas, ofrece beneficios significativos a muchos niveles. Sin embargo, el desarrollo de un sistema completo para integrar las evaluaciones de riesgo en humanos y ecológicas para radionucleidos, para cualquier situación de exposición específica, se encuentra todavía en una fase temprana [43], y sigue siendo un reto significativo para la radioecología, como sugirió Pentreath [14] en el contexto de la aproximación de la ICRP: "... será esencial considerar como se puede lograr la protección tanto del hombre como del medioambiente dentro de un sistema filosófico amplio, utilizando aproximaciones complementarias, basado en el mismo conocimiento científico subyacente".

Este reto se centrará en el desarrollo de métodos integrados para la evaluación en las áreas de la transferencia, exposición, dosimetría y riesgos, determinando en que aspectos es justificable y beneficiosa la armonización de las aproximaciones utilizadas en humanos y en el medioambiente.

deben ser considerados cuando se seleccionan las opciones de gestión. Por lo tanto, hay una necesidad de optimizar las aproximaciones de gestión para la contaminación radiactiva que va más allá de la simple consideración de la dosis de radiación. La optimización requiere experiencia en áreas tales como la radioecología, el urbanismo, las ciencias sociales y económicas, la tecnología de la información, la gestión de residuos, las ciencias medioambientales y agrícolas, y la comunicación. Desde un punto de vista práctico, el proceso de optimización podría basarse en la integración de los Sistemas de Apoyo a la Decisión asociados con las ciencias radiológicas, con las bases de datos de conocimiento y las herramientas de ayuda a la decisión de otras disciplinas (ej. urbanismo, economía, sociología) de tal manera que los medioambientes contaminados se gestionen de una manera holística para el máximo beneficio de la sociedad.

El análisis multicriterio [44] proporciona un marco teórico adecuado que puede utilizarse para combinar factores cuantitativos y cualitativos y para guiar los procesos de toma de decisiones hacia una solución satisfactoria (ya que no existe un óptimo global en la presencia de múltiples criterios, con frecuencia conflictivos). Mediante el uso de herramientas de decisión basadas en un análisis de decisión multicriterio, se pueden clasificar los factores de sensibilidad radioecológica regionales, en correspondencia con todos los parámetros medioambientales y antropogénicos que bien exacerban o mitigan las consecuencias de la contaminación.

### ***Integrar las aproximaciones de ecosistemas, los servicios de ecosistemas y la economía ecológica con la radioecología***

Una variedad de aproximaciones para la evaluación y gestión medioambiental están basadas en una aproximación más holística a las fuentes y consecuencias del cambio del ecosistema. Todos se centran en el ecosistema, en lugar de en los efectos a nivel de individuos, y se han vinculado a conceptos de sostenibilidad, indicadores medioambientales y al uso sostenible de los recursos. Estas aproximaciones hacen hincapié en las interacciones dinámicas inherentes entre los componentes del sistema (incluyendo los humanos), vías de retroalimentación potenciales y efectos indirectos. Al empezar a pensar en estos términos, la radioecología y la protección radiológica podrían ser más holísticas e integradoras, así como aumentar la compatibilidad con otras evaluaciones medioambientales y sistemas de protección. La aproximación de ecosistemas normalmente se utiliza en el contexto de la evaluación medioambiental y la protección medioambiental, pero también es una aproximación científica. Es, por su propia naturaleza, integradora con respecto a la ciencia y a la gestión, y considera todos los factores

de estrés y factores ambientales potenciales que podrían afectar a la estructura y función del ecosistema, mientras que incluye al hombre como una parte integral del mismo. El concepto está muy extendido y se aplica en, por ejemplo, la Convención sobre Diversidad Biológica, la Directiva Hábitat de la Unión Europea, la Ley de Protección Medioambiental de Canadá, la Convención OSPAR para la protección del medioambiente marino del Atlántico Noreste, la Convención RAMSAR sobre los humedales costeros, y es prometedora como aproximación unificadora para la protección radiológica del medioambiente [45].

Los conceptos de servicios del ecosistema y economía ecológica se refieren principalmente a los beneficios finales de los ecosistemas para el hombre, ya sea financieramente o de otro modo, mientras que la aproximación de ecosistemas está posiblemente menos centrada en el hombre. Sin embargo, todas las aproximaciones comparten un reconocimiento fundamental de la integración y de la interdependencia del hombre y el medioambiente. Los servicios del ecosistema son los beneficios que las personas obtienen del ecosistema. Estos incluyen servicios de aprovisionamiento, como agua y comida; servicios de regulación como el control de inundaciones y enfermedades; servicios culturales como los beneficios espirituales, recreativos y culturales; y servicios de apoyo como el ciclo de nutrientes, que mantienen las condiciones para la vida en la tierra [46]. Dentro de la economía ecológica, el concepto ha sido utilizado como una manera de asignar un valor económico a los ecosistemas, que de otra forma no tienen un precio explícito [47]. Esto permite una conexión directa entre los resultados ecológicos y las consecuencias económicas, de tal manera que los científicos, economistas y gestores pueden usar los mismos términos y unidades para describir los cambios ecológicos.

El concepto de Servicios Ecológicos está aumentando en importancia en la formulación de la política medioambiental y en los desarrollos de nuevos métodos de evaluación de riesgos medioambientales, debido a que es un sistema conceptual coherente, a su capacidad de integrar los compartimentos ambientales o métodos de evaluación, a su aplicabilidad en una serie de escalas espaciales y temporales, y a su fuerza como herramienta de comunicación [48, 49]. Sin embargo, la ciencia y los métodos de valoración necesarios para ponerlo en práctica siguen estando en su infancia, aunque se están produciendo avances en otros campos de la ciencia (ej., [48-52]). Teniendo en cuenta el gran impacto social y económico de la contaminación con radiación, la aproximación de Servicios Ecológicos tiene un gran potencial y podría estimular una mayor participación de los grupos interesados en la protección radiológica.

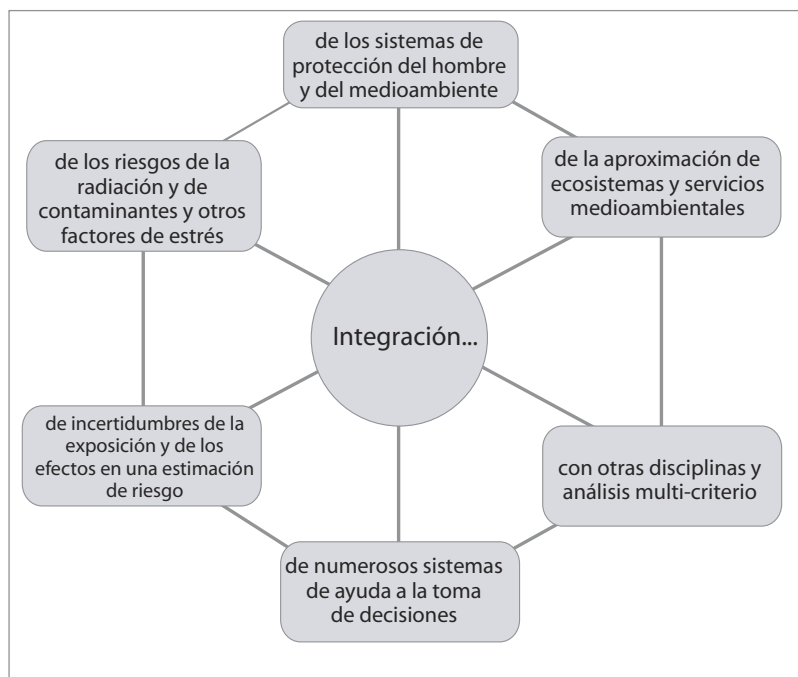
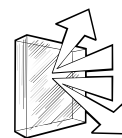


Figura 3. Seis áreas en el Reto 3: Mejorar la protección del hombre y del medioambiente mediante la integración de la radioecología.

### Integrar los sistemas de apoyo a la toma de decisiones

Los sistemas de ayuda a la toma de decisiones (DSS, del inglés *Decision Support Systems*) –sistemas computarizados que facilitan la gestión de grandes cantidades de datos y que proporcionan asistencia en el análisis, la interpretación y la presentación de datos– representan en gran medida la “cara” visible de la radioecología, y constituyen un nexo importante entre la investigación en radioecología y los grupos interesados. En el área de los DSS, son evidentes tres aspectos de como la integración será beneficiosa: (a) integración de los DSS radioecológicos; (b) DSS para evaluaciones integradas; y (c) integración de los DSS para situaciones de exposición existente y planificada con los sistemas para exposiciones de emergencia. Como se desprende de las conclusiones de EVANET-TERRA e HYDRA, los DSS disponibles en la actualidad son dispares en cuanto a las situaciones de exposición y medioambientes a los que se pueden aplicar, los nucleidos implicados y las plataformas técnicas, lo que refleja el estado de fragmentación de la radioecología en Europa durante los últimos 10-15 años.

El desarrollo de DSS para exposiciones planificadas/existentes y para exposiciones de emergencia ha seguido en gran medida dos trayectorias paralelas. Los DSS para exposiciones de emergencia tienden a carecer de componentes radioecológicos avanzados, mientras que los DSS para exposiciones planificadas y existentes a menudo carecen

de los medios para manejar las escalas espaciales que incluyen los DSS para exposiciones de emergencia. El accidente de Fukushima bien ha demostrado los problemas inherentes a la falta de convergencia entre estas vías de desarrollo y la falta de disponibilidad de herramientas para situaciones dinámicas en las que la transición entre las situaciones de exposición de emergencia y de exposición existente no está clara. La iniciativa NERIS-TP ha identificado las necesidades para el ulterior desarrollo de los DSS para exposiciones de emergencia y para el compromiso de los grupos interesados dentro de sus actividades estratégicas. La integración de la radioecología, tal y como se ejemplifica en la iniciativa STAR, sus actividades y objetivos de investigación con la plataforma NERIS será un paso adelante en el desarrollo de la próxima generación de DSS.

En la Figura 3 se representan aspectos claves del Reto 3.

### PRÓXIMOS PASOS: ALCANZAR CONSENSO Y DESARROLLAR LA “HOJA DE RUTA”

La adquisición de nuevos conocimientos científicos mediante la investigación en radioecología es un elemento crucial para la protección del hombre y del medioambiente contra efectos nocivos, así como para responder a las inquietudes de los grupos interesados en relación a la presencia de radionucleidos en el medioambiente. Dichos estudios son importantes para la sociedad ya que la sobre estimación de las exposiciones o de los efectos podría llevar a restricciones costosas innecesarias; alternativamente, la subestimación del riesgo resultará en daños al hombre y al medioambiente. La única manera de proporcionar soluciones rápidas y eficaces a los difíciles problemas resaltados en la SRA, es un programa de investigación impulsado por hipótesis con claros objetivos comunes y recursos compartidos entre la comunidad internacional de radioecología. Para que la sociedad obtenga una contribución significativa de la radioecología del futuro, se necesita una aproximación a largo plazo, multidisciplinar, que vaya más allá de las fronteras nacionales.

Las declaraciones de la visión y la agenda estratégica presentadas en este artículo, se concentran en los aspectos de investigación de la radioecología. La agenda estratégica final también incluirá planes sobre otros aspectos igualmente importantes de nuestra ciencia (es decir, el mantenimiento de las infraestructuras cruciales para radioecología; necesidades de educación y formación; la contratación; así como la

gestión y diseminación del conocimiento). Las otras fases se desarrollarán durante los próximos dos años, con contribuciones de los grupos interesados y de la amplia comunidad de radioecología

Desarrollar una SRA no es un proceso lineal, sino que es un proceso que debe tener vías de retroalimentación diseñadas para que haya continuas aportaciones e innovación. Para nuestro conocimiento, esta es la primera Agenda Estratégica de Investigación en Radioecología. Nuestra expectativa es que una SRA para Radioecología se centre y priorice nuestros esfuerzos colectivos, lo que resultará en un valor añadido y en un avance más rápido en nuestra comprensión de la radioactividad ambiental, así como de nuestra habilidad para predecir sus efectos. Invitamos a todos los que estén interesados a que contribuyan y participen en el desarrollo posterior de la SRA.

### AGRADECIMIENTOS

Los fondos para realizar la Agenda Estratégica de Investigación fueron proporcionados, en parte, por la Comisión Europea, bajo el número de Contrato Fission-2010-3.5.1-269672. Las sugerencias del Consejo Asesor Externo de STAR (Rick Jones, Dick Roelofs, Nina Cedergreen, Maria Betti, Mikhail Balonov, Satoshi Yoshida y Valery Forbes) fueron muy apreciadas y mejoraron una versión anterior de este documento.

### BIBLIOGRAFÍA

[1] FUTURAE, 2008. Deliverable 4: Networking a Way for Maintaining and Enhancing Radioecological Competences in Europe. [http://www.futurae.org/index.php?option/4com\\_content&task/4view&id/428&Itemid/41](http://www.futurae.org/index.php?option/4com_content&task/4view&id/428&Itemid/41).

[2] Whicker, F.W., Shaw, G., Voigt, G., Holm, E., 1999. Radioactive contamination: state of the science and its application to predictive models. *Environ. Pollut.* 100, 133e149.

[3] Hinton, T.G., 2000. Strong inference, science fairs and radioecology. *J. Environ. Radioact.* 51, 277e279.

[4] Brechignac, F., et al., 2003. Protection of the environment in the 21st century: radiation protection of the biosphere including human kind. Statement of the international union of radioecology. *J. Environ. Radioact.* 70, 155e159.

[5] Calow, P., Forbes, V., 2003. Does ecotoxicology inform ecological risk assessment? *Environ. Sci. Technol.* 37, 146Ae151A.

[6] Brown, J.E., Jones, S., Saxen, R., Thorning, H., Vives, I., Battie, J., 2004. Radiation doses to aquatic organisms from natural radionuclides. *J. Radiol. Prot.* 24, A63eA77.

[7] Eggen, R., Behra, R., Burkhardt-Holm, P., Escher, B., Schweigert, N., 2004. Challenges in ecotoxicology. *Environ. Sci. Technol.* 38, 58Ae64A.

[8] Garnier-Laplace, J., Gilek, M., Sundell-Bergman, S., Larsson, C.-M., 2004. Assessing ecological effects of radionuclides: data gaps and extrapolation issues. *J. Radiol. Prot.*, A139eA155.

[9] Shaw, G., 2005. Applying radioecology in a world of multiple contaminants. *J. Environ. Radioact.* 81, 117e130.

[10] Alexakhin, R., 2006. Radioecology: history and state-of-the-art at the beginning of the 21st century. In: Cigna, A., Durante, M. (Eds.), *Radiation Risk Estimates I. Normal and Emergency Situations*. Springer Publishing, pp. 159e168.

[11] OECD-NEA, 2007. Organisation for Economic Cooperation and Development. Nuclear Energy Agency, Scientific Issues and Emerging Challenges for Radiological Protection. Report Of Expert Group Implications Radiological Prot. Sci.. NEA No. 6167; OECD Publishing; 2 rue André-Pascal, 75775 Paris.

[12] Brechignac, F., et al., 2008. Integrating environment protection, a new challenge: strategy of the international union of radioecology. *Radioprotection* 43, 339e356.

[13] Larsson, C.-M., 2008. An overview of the ERICA integrated approach to the assessment and management of environmental risks from ionising contaminants. *J. Environ. Radioact.* 99, 1364e1370.

[14] Pentreath, R.J., 2009. Radioecology, radiobiology, and radiological protection: frameworks and fractures. *J. Environ. Radioact.* 100, 1019e1026.

[15] Salbu, B., 2009. Challenges in radioecology. *J. Environ. Radioact.* 100, 1086e1091

[16] Repussard, J. 2011. Radioecology for tomorrow: an international challenge, both scientific and operational. Presented at the International Conference on Radioecology and environmental radioactivity. Hamilton, Ontario, Canada; 19 June 2011.

[17] Artigas, J., et al., 2012. Towards a renewed research agenda in ecotoxicology. *J. Environ. Radioact.* 16), 201e206.

[18] IAEA (International Atomic Energy Agency), 2006. Fundamental Safety Principles. IAEA Safety Standards for Protecting People and the Environment. Safety Fundamentals SF-1. International Atomic Energy Agency, Vienna.

[19] ICRP, 2007. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103, Ann. ICRP 37 (2e4).

[20] ICRP, 2008. Environmental Protection e the Concept and Use of Reference Animals and Plants. ICRP Publication 108, Ann. ICRP 38 (4e6).

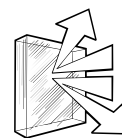
[21] Avila, R., et al., 2004. Study of the uncertainty in estimation of the exposure of nonhuman biota to ionising radiation. *J. Radiol. Prot.* 24, A105eA122.

[22] Ng, Y.C., 1982. A review of transfer factors for assessing the dose from radionuclides in agricultural products. *Nucl. Saf.* 23, 57e71.

[23] IAEA (International Atomic Energy Agency), 2009. Quantification of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments for Radiological Assessments. IAEA TECDOC Series No. 1616.

[24] Copplestone, D., Hingston, J., Real, A., 2008. The development and purpose of the FREDERICA radiation effects database. *J. Environ. Radioact.* 99, 1456e1463.





- [25] Williams, C. (Ed.), 2004. Framework for Assessment of Environmental Impact (FASSET) of Ionising Radiation in European Ecosystems. *Journ. Rad. Prot.*, vol. 24 (4A) (special issue).
- [26] Howard, B.J., Beresford, N.A., Andersson, P., Brown, J.E., Coplestone, D., Beaugelin-Seiller, K., Garnier-Laplace, J., Howe, P.D., Oughton, D., Whitehouse, P., 2010. Protection of the environment from ionising radiation in a regulatory context e an overview of the PROTECT coordinated action project. *J. Radiol. Prot.* 30, 195e214.
- [27] Van Straalen, N., 2003. Ecotoxicology becomes stress ecology. *Environ. Sci. Technol.* 37, 324Ae330A.
- [28] Mothersill, C.E., Smith, R.W., Seymour, C.B., 2009. Molecular tools and the biology of low-dose effects. *BioScience* 59, 649e655.
- [29] Handy, R.D., 2008. Systems toxicology: using the systems biology approach to assess chemical pollutants in the environment. *Adv. Experim. Bio.* 2, 249e281.
- [30] Kooijman, S.A.L.M., 2000. *Dynamic Energy and Mass Budgets in Biological Systems*, second ed. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- [31] UNSCEAR. 2008. vol. II. Sources of Ionizing Radiation United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Report to the General Assembly, with Scientific Annexe E. United Nations, New-York, 313 pp.
- [32] Harrison, F.L., Anderson, S.L., 1996. Taxonomic and development aspects of radiosensitivity. In: Amiro, B., Avadhanula, R., Johansson, G., Larsson, C.M., Luning, M. (Eds.), *Proceedings Of the Symposium: Ionizing Radiation, the Swedish Radiation Protection Institute (SSI) and the Atomic Energy Control Board (AECB) of Canada*, 20e24 May, 1996, Stockholm, Sweden, pp. 65e88.
- [33] Fuma, S., Watanabe, Y., Kawaguchi, I., Takata, T., Kubota, Y., Ban-nai, T., Yoshida, S., 2012. Derivation of hazardous doses for amphibians acutely exposed to ionizing radiation. *J. Environ. Radioact.* 103, 15e19.
- [34] Hinton, T.G., Aizawa, K., 2007. A layperson's primer on multiple stressors. In: Mothersill, C., Mossee, I. (Eds.), *Multiple Stressors: a Challenge for the Future*. NATO Advance Research Workshop; Science for Peace Series. SpringerLink, Netherlands, ISBN 978-1-4020-6333-6, pp. 57e69.
- [35] Doi, M., Kawaguchi, I., Tanaka, N., 2005. Model ecosystem approach to estimate community level effects of radiation. *Radio-protection* 40 (Suppl. 1), s913es919.
- [36] Fuma, S., Ishii, N., Takeda, H., Doi, K., Kawaguchi, I., Shikano, S., Tanaka, N., Inamori, Y., 2010. Effects of acute g-irradiation on community structure of the aquatic microbial microcosm. *J. Environ. Radioact.* 101, 915e922.
- [37] Geras'kin, S.A., Fesenko, S.V., Alexakhin, R.M., 2008. Effects of non-human species irradiation after the Chernobyl NPP accident. *Environ. Int.* 34, 880e897.
- [38] Forbes, V.E., Calow, P., 2002. Population growth rate as a basis for ecological risk assessment of toxic chemicals. *Philosophical Trans. Royal Soc. London Ser. B Biol. Sci.* 357, 1299e1306.
- [39] Forbes, V.E., Calow, P., Grimm, V., Hayashi, T.I., Jager, T., Katholm, A., Palmqvist, A., Pastorok, R., Salvito, D., Sibly, R., Spromberg, J., Stark, J., Stillman, R.A., 2011. Adding value to ecological risk assessment with population modelling. *Hum. Ecol. Risk Assess.* 17, 287e299.
- [40] Woodhead, D.S., 2003. A possible approach for the assessment of radiation effects on populations of wild organisms in radionuclide-contaminated environments? *J. Environ. Radioact.* 66, 181e213.
- [41] Alonzo, F., Hertel-Aas, T., Gilek, M., Gilbin, R., Oughton, D., Garnier-Laplace, J., 2008. Modelling the propagation of effects of chronic exposure to ionizing radiation from individuals to populations. *J. Environ. Radioact.* 99, 1464e1473.
- [42] Vives i Batlle, J., Wilson, R.C., Watts, S.J., McDonald, P., Jones, S.R., Vives-Lynch, S.M., Craze, A., 2010. An approach to the assessment of risk from chronic radiation to populations of European lobster, *Homarus gammarus* (L.). *Radiat. Environ. Biophys.* 49, 67e85.
- [43] Coplestone, D.C., Brown, J.E., Beresford, N.A., 2010. Considerations for the integration of human and wildlife radiological assessments. *J. Radiol. Prot.* 30, 283e297.
- [44] Linkov, I., Moberg, E., 2012. *Multi-Criteria Decision Analysis; Environmental Applications and Case Studies*. CRC Press, Boca Raton, FL, 186 pp.
- [45] Bréchnignac, F., Bradshaw, C., Carroll, S., Jaworska, A., Kapustka, L., Monte, L., Oughton, D., 2011. Recommendations from the international union of radioecology to improve guidance on radiation protection. *Integrated Environ. Assess. Manag.* 7, 411e413.
- [46] Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC, 160 pp. <http://www.maweb.org/en/index.aspx>.
- [47] Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farberk, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., van den Belt, M., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387, 253e260.
- [48] Faber, J., van Wensem, J., 2012. Elaborations on the use of the ecosystem services concept for application in ecological risk assessment for soils. *Sci. Total. Environ.* 415, 3e8.
- [49] Nienstedt, K., Brock, T., van Wensem, J., Montforts, M., Hart, A., Aagaard, A., Alix, A., Boesten, J., Bopp, S., Brown, C., Capri, E., Forbes, V., Köpp, H., Liess, M., Luttk, R., Maltby, L., Sousa, J., Streiss, F., Hardy, A., 2012. Development of a framework based on an ecosystem services approach for deriving specific protection goals for environmental risk assessment of pesticides. *Sci. Total. Environ.* 415, 31e38.
- [50] SETAC Ecosystem Services Advisory Group (ES-AG), 2012. Summary of the 5th SETAC Europe special science symposium: ecosystem services-from policy to practice. *SETAC Globe* 13 (3).
- [51] Thomsen, M., Faber, J., Sorensen, P., 2012. Soil ecosystem health and services e evaluation of ecological indicators susceptible to chemical stressors. *Ecol. Indicators* 16, 67e75.
- [52] Paetzold, A., Warren, P., Maltby, L., 2010. A framework for assessing ecological quality based on ecosystem services. *Ecol. Complexity* 7, 273e281.

# NOTICIAS RADIOECOLOGÍA

Almudena Real. CIEMAT. Coordinadora del Monográfico de Radioecología

## Se constituye oficialmente la Alianza Europea de Radioecología



En septiembre de 2012 quedó constituida oficialmente la Alianza Europea de Radioecología (la Alianza), como una Asociación registrada en Francia. Este ha sido el resultado de varios años de trabajo tras la firma en 2009 de un "Memorando de Entendimiento" por los directores generales de ocho instituciones europeas que desarrollan actividades de investigación en radioecología. Dichas instituciones, miembros fundadores de la Alianza, son:

- Oficina Federal Alemana de Protección Radiológica (BfS), Alemania.
- Centro Belga de Investigación Nuclear (SCK•CEN), Bélgica.
- Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat), España.
- Autoridad de Seguridad Nuclear y Radiación (STUK), Finlandia.
- Instituto Francés de Protección Radiológica y Seguridad Nuclear (IRSN), Francia.
- Autoridad Noruega de Protección Radiológica (NRPA), Noruega.
- Consejo de Investigación en Medio Ambiente Natural (NERC), Reino Unido.
- Autoridad Sueca de Seguridad Radiológica (SSM), Suecia.

La Alianza tiene como objetivos principales: (a) Coordinar y promover la investigación en radioecología en Europa; (b) Actuar como una plataforma de investigación: definir prioridades; identificar programas de investigación y recursos para alcanzar estos objetivos; evaluar los resultados obtenidos; llevar a cabo tareas de promoción y comunicación; y (c) Hacer pública su información.

Como quedó reflejado en el Memorando de Entendimiento, la Alianza pre-

- Aprovechar la revisión realizada durante el proyecto Futurae, sobre los programas de I+D europeos y actividades relacionadas (por ejemplo, los procesos de financiación, formación y educación; gestión del conocimiento, mantenimiento y optimización de las principales instalaciones experimentales), con el fin de elaborar propuestas para la progresiva integración en el ámbito de una Agenda Estratégica de Investigación en Radioecología conjunta.
- Trabajar juntos para crear una organización transnacional sostenible capaz de elaborar y gestionar la Agenda Estratégica de Investigación en Radioecología y de garantizar una interrelación con la comunidad científica internacional, incluyendo universidades y los principales grupos interesados.
- Velar por el adecuado intercambio de información con organizaciones relevantes en los países que participan en la Alianza, así como en instituciones de la UE, particularmente los servicios de la Comisión Europea y otras organizaciones internacionales (ej. Organismo Internacional de la Energía Atómica; Comisión Internacional de Protección Radiológica, Unión Internacional de Radioecología), Sociedades científicas y Plataformas europeas (Neris, Melodi, Herca).
- Proporcionar respuestas de colaboración consolidadas a las convocatorias de Europa e internacionales.

Una vez creada la Asociación, se han elegido los miembros del Consejo Directivo, que quedó constituido de la siguiente manera: presidente de la Alianza, Frank Hardeman (SCK•CEN, Bélgica); vicepresidente, Per Strand (NRPA, Noruega); secretaria, Brenda Howard (CEH, Reino Unido) y tesorero, Jean-Cristophe Gariel (IRSN, Francia).

El objetivo ahora es que la Alianza crezca, incorporando nuevos grupos de investigación de Europa y del resto del mundo, interesados en radioecología. En la página electrónica de la Alianza (<http://www.er-alliance.org>) está disponible toda la información necesaria para solicitar la incorporación a la Alianza

Europea de Radioecología. Existe un formato de declaración de apoyo a la Asociación, que tiene que ser firmada por todos aquellos que quieran convertirse en nuevos miembros de la Alianza. Dicha declaración debe ir acompañada de una presentación general de la organización, así como de un resumen del mandato, las actividades, los recursos financieros y humanos disponibles para radioecología en la organización solicitante. En la página electrónica también se pueden consultar los estatutos de la Alianza.

## Noruega crea un centro de excelencia sobre radiactividad ambiental

La Universidad de Ciencias de la Vida (UMB) y la Autoridad de Protección Radiológica (NRPA) de Noruega, con el apoyo de otras cuatro instituciones noruegas (Figura 1) y de una fuerte red internacional de expertos en diversas disciplinas, han creado un centro de excelencia en Noruega, el Centro para Radiactividad Ambiental (CERAD), que ha comenzado a funcionar el uno de enero de 2013. El Centro está financiado por el Consejo de Investigación Noruego.

El objetivo principal del Centro de Excelencia Cerad es proporcionar nuevos conocimientos científicos y herramientas para una mejor protección del hombre y del medio ambiente frente a los efectos

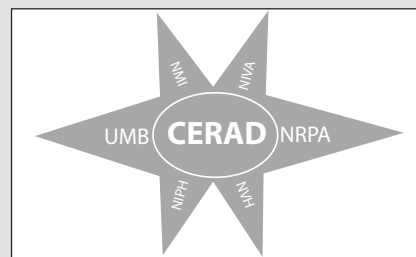


Figura 1. Logotipo del Centro de Excelencia para Radiactividad Ambiental Noruega, en el que se incluyen las instituciones noruegas involucradas: UMB (Universidad de Ciencias de la vida); NRPA (Autoridad Nacional en Protección Radiológica); NVH (Escuela de Ciencias Veterinarias), NMI (Instituto Meteorológico), NIVA (Instituto para Investigación de Aguas) y NIPH (Instituto de Salud Pública).

perjudiciales de la radiación. En esencia, lo que se pretende es reducir las incertidumbres y la falta de conocimiento en evaluaciones de impacto y de riesgos asociadas con la radiación, sola o en combinación con otros factores de estrés (contaminantes, radiación UV, temperatura, condiciones climáticas). Las actividades a realizar se centrarán en: fuentes y escenarios de liberación, transferencia en los ecosistemas, respuestas/efectos, riesgos (incluyendo las consecuencias económicas) y ética.

El Cerad ha sido diseñado para contestar las siguientes hipótesis generales:

- Liberación de partículas radiactivas: el transporte aire/agua de las partículas será diferente del de los aerosoles/iones.
- La transferencia en el ecosistema, la incorporación biológica y la posterior acumulación en los seres vivos de los radionucleidos, están dirigidas por cambios en la especiación del radionucleido a lo largo del tiempo.
- Cinéticas: mejorar las evaluaciones de transferencia y exposición teniendo en cuenta los cambios dependientes del tiempo y la temperatura, permitirá reducir las incertidumbres.
- Las respuestas a nivel celular o de biomarcadores moleculares pueden correlacionarse con los efectos a nivel de organismo. La exposición a partículas y a dosis localizadas puede aumentar los riesgos.
- Eficacia biológica relativa (RBE): las RBE derivadas para emisores alfa y beta de baja energía para los riesgos de cáncer en humanos, no serán aplicables para efectos ecológicamente relevantes (ej. reproducción, crecimiento).
- Múltiples factores de estrés: la radiación ionizante, UV y otros factores de estrés químicos actúan bien por modos de acción iguales o bien por modos de acción diferentes o en distintos lugares. Las respuestas combinadas se desvían de la dosis única o de las evaluaciones de concentración y podrían producir efectos aditivos, sinérgicos o antagónicos.

En la página electrónica del Cerad (<http://www.umb.no/cerad>) se puede encontrar más información sobre este nuevo Centro de Excelencia creado en Noruega.

## Centro Nacional de Radioecología en Estados Unidos de América



El Laboratorio Nacional *Savannah River* del Departamento de Energía de Estados Unidos, reconoció en 2010 la necesidad inmediata de crear un consorcio de expertos en radioecología. Para hacer frente a esta necesidad, trabajaron con universidades de los EE.UU. y con laboratorios de Francia y Ucrania para crear, a principios de 2011, el Centro Nacional de Radioecología (NCoRE), una red de excelencia para reducir el riesgo de la radiactividad ambiental y para la remediación de sitios contaminados.

El principal objetivo del NCoRE es correlacionar los riesgos para la salud medioambiental y para la salud de las personas derivados de la exposición a radiación. Para ello, se trabajará en las siguientes líneas de investigación: efectos a nivel molecular y genético, efectos sinérgicos, estudios a nivel de individuos, poblaciones y ecosistemas, remediación y asuntos de seguridad relacionados con la radioecología urbana.

Para lograr su objetivo global, NCoRE se plantea las siguientes actividades:

- Fomentar la colaboración entre científicos del Departamento de Energía (DOE) y de Salud de EE.UU., otras agencias federales, entidades estatales, universidades, e instituciones internacionales de investigación en las diversas áreas de la radioecología.
- Trabajar con socios clave para establecer un programa de educación/investigación para capacitar radioecólogos a nivel de postgrado, ya que actualmente no existen programas oficiales de postgrado en radioecología en los EE.UU.
- Aprovechar los recursos y la experiencia para hacer frente a las oportunidades de I+D, a través de propuestas conjuntas tanto en Estados Unidos como a nivel internacional.

Las instituciones que participan en el NCoRE son:

- Laboratorio Nacional *Savannah River*.
- Universidad de Clemson.
- Universidad del Estado de Colorado.
- Universidad de Duke.
- Instituto de Protección Radiológica y de Seguridad Nuclear (IRSN, Francia).
- Laboratorio Internacional de Radioecología de Chernobyl (IRL, Ucrania).
- Universidad del Estado de Oregón.
- Universidad de Georgia – Laboratorio de Ecología *Savannah River*.
- Universidad de Carolina del Sur.

El NCoRE está trabajando para establecer una lista de prioridades en investigación. Algunos ejemplos de las áreas prioritarias incluyen:

- Hacer frente a la falta de datos existente sobre algunos aspectos de la transferencia de radionucleidos y validar los factores de transferencia, muchos de los cuales fueron recopilados en los años 70 y son utilizados en los modelos actuales de cálculo de dosis al público.
  - Estudiar la contaminación superficial en lugares donde la contaminación consta tanto de radionucleidos como de metales pesados. Por ejemplo, estudiar los efectos en la biota no-humana, discutir estrategias de remediación, transporte y destino de los contaminantes como el uranio y el níquel liberados al medio ambiente a finales de los años 60.
- Se puede encontrar más información sobre el Centro Nacional de Radioecología de Estados Unidos en <http://srnl.doe.gov/NCORE/>

## Red de Excelencia Europea en Radioecología STAR

Como se ha informado en números anteriores de *RADIOPROTECCIÓN*, el proyecto europeo STAR (*Strategy for Allied Radioecology*) comenzó en febrero de 2011. Durante los 18 meses de andadura son numerosos los resultados y logros alcanzados, los cuales se resumen a continuación.

Con los desafíos científicos relacionados con el ciclo de combustible nuclear,



la necesidad de conocimientos radioecológicos está aumentando en todo el mundo. Al mismo tiempo, la oferta de estudios relacionados con la radioecología ha disminuido, los principales expertos se acercan a la jubilación, y la financiación para la investigación en radioecología es mínima en muchos países europeos.

Para hacer frente a estos retos y evitar una mayor fragmentación, nueve organizaciones líderes dedicadas a fortalecer la ciencia de la radioecología en Europa, fueron financiadas por el VII Programa Marco de la CE para establecer una red de excelencia en radioecología. Las organizaciones que participan en la Red son: el Instituto de Radioprotección y Seguridad Nuclear (IRSN, Francia); la Autoridad en Seguridad Nuclear y Radiológica (STUK, Finlandia); el Centro de Investigación Nuclear Belga (SCK•CEN, Bélgica); el Consejo de Investigación Medioambiental Nacional (NERC, Reino Unido); el Centro de Investigaciones Energéticas Medio Ambientales y Tecnológicas (Ciemat, España); la Oficina Federal Alemana de Protección Radiológica (BfS, Alemania); la Universidad de Estocolmo (SU, Suecia); la Autoridad Noruega de Protección Radiológica (NRPA, Noruega); y la Universidad de Ciencias de la Vida (UMB, Noruega).

El objetivo de la red de excelencia STAR es integrar eficazmente las organizaciones relevantes en radioecología, las infraestructuras y los esfuerzos de investigación en una red sostenible que contribuya a un Área de Investigación Europea en Radioecología. Para lograr esto, se implementó un programa conjunto de actividades que se centra en la integración y la puesta en común de infraestructuras; formación, educación y movilidad; gestión y diseminación del conocimiento, así como colaboración en investigación en tres áreas clave: (1) integración de las evaluaciones de riesgos radiológicos en humanos y especies no-humanas; (2) protección radiológica en un contexto de múltiples contaminantes;

y (3) efectos ecológicamente relevantes de dosis bajas.

### **Descripción del trabajo realizado desde que comenzó STAR y principales resultados alcanzados hasta el momento**

Los miembros de STAR constituyen la principal fuente de experiencia en Europa sobre radiactividad ambiental. Esto se ha logrado, en parte, por la valía del inventario realizado sobre las infraestructuras, los modelos, la experiencia y los archivos de muestras disponibles en las organizaciones miembro de STAR. Este inventario revela que los miembros de STAR tienen más de 170 expertos que cubren una amplia gama de áreas relacionadas con la radioecología terrestre, marina y de agua dulce: dispersión atmosférica; dosimetría; ecología; ecotoxicología; protección radiológica del medioambiente; vigilancia del medioambiente; modelización; radiobiología y analítica de radionucleidos; preparación de emergencias; formación y educación. La experiencia de los miembros de STAR cubre al menos 40 modelos diferentes para calcular concentraciones de actividad, tasas de dosis y riesgos de la radiación en humanos o biota no-humana. Esta información puede ser de gran utilidad para la coordinación y la integración de la respuesta a emergencias; para formación; y para colaboraciones entre STAR y otras organizaciones de investigación, organizaciones internacionales (ej. OIEA) y otras plataformas (NERIS, MELODI, HERCA).

STAR ha desarrollado el *Radioecology Exchange* ([www.starradioecology.org](http://www.starradioecology.org)), el primer portal en internet que proporciona información sobre radioecología (publicaciones, datos, informes de Euratom, material de formación, noticias, métodos) de una manera abierta a todos los grupos interesados. El portal es un estímulo para la colaboración y la integración. Aumentará la comunicación con los grupos interesados, servirá como un archivo para datos en futuros meta-análisis, y maximizará la accesibilidad a los datos obtenidos en los proyectos de Euratom relacionados con radiactividad ambiental.

STAR ha producido la primera Agenda Estratégica de Investigación en Radioecología (SRA, del inglés *Strategic*

*Research Agenda*), de la que se informa más detalladamente en uno de los artículos de este monográfico de RADIO-PROTECCIÓN. La SRA proporciona una visión a largo plazo de las necesidades de investigación en radioecología en la Comunidad Europea, y asegurará que se mantengan y aumenten las capacidades requeridas para evaluar el impacto de la radiactividad en el hombre y el medioambiente. La SRA es una propuesta sobre las prioridades en los temas de investigación en radioecología, con el objetivo de mejorar la eficacia en investigación y avanzar más rápidamente en la ciencia. La SRA responde a la cuestión: ¿qué temas, si se abordaran de manera crítica en los próximos 20 años, producirían un avance significativo en la radioecología? La SRA se puede descargar en [https://wiki.ceh.ac.uk/download/attachments/165478481/SRA\\_final\\_june2012\\_to\\_wiki.pdf](https://wiki.ceh.ac.uk/download/attachments/165478481/SRA_final_june2012_to_wiki.pdf)

Como parte del objetivo de determinar si los criterios de protección radiológica para las personas y otras especies de animales y plantas necesitan ser considerados en un contexto de mezcla de contaminantes, STAR ha producido la primera evaluación crítica de la aplicabilidad de los métodos ecotoxicológicos para la investigación radioecológica y sus evaluaciones. El informe es una referencia valiosa para los científicos que realizan estudios de investigación sobre mezclas de contaminantes y está disponible en <https://wiki.ceh.ac.uk/download/attachments/159646177/STAR+deliverable+4.1+Final.pdf>

STAR ha desarrollado aspectos críticos de una metodología que reducirá las incertidumbres actuales a la hora de predecir los efectos en poblaciones de animales y plantas expuestas a radiación y, por tanto, que potencialmente reducirá los costes asociados con la implementación de los programas de protección medioambiental. Esto se logrará con el establecimiento de un método para extrapolar de forma eficaz los efectos medidos en individuos a impactos más amplios, que pueden utilizarse como criterios de protección de poblaciones de animales y plantas, y aplicarse como puntos de referencia de protección en el nivel de cribado de las evaluaciones de riesgo ecológico.



Una de las tareas más importantes relacionadas con la integración eficaz de los miembros de STAR, así como con la comunidad de radioecología en general, es la creación por parte de STAR de los observatorios para investigación en radioecología. La idea es identificar y gestionar emplazamientos contaminados para proporcionar un foro común de colaboración internacional y para realizar trabajo de campo compartido. Durante los 18 meses de STAR se han establecido, con ayuda de expertos externos, los criterios para seleccionar los observatorios. Se ha elaborado una lista de sitios candidatos, que incluye una mina de carbón en Polonia, Chernobyl, un sitio de extracción de uranio cercano a Clermont-Ferrand en Francia, una antigua área de minería de uranio en Alemania y Fukushima. Una vez seleccionados y desarrollados, los observatorios permitirán a STAR y a la amplia comunidad de radioecología probar hipótesis y colaborar eficazmente en investigaciones de campo. Todos los datos recogidos serán archivados en el portal de internet de STAR.



Entre los resultados obtenidos hasta el momento, STAR ha:

- Revisado y seleccionado dos herramientas para la evaluación de riesgos (una diseñada para análisis de riesgos en humanos (CROM) y la otra para análisis de riesgos en flora y fauna (ERICA)) que serán adaptadas para crear una herramienta de cribado combinada, que permita la evaluación de riesgos en el hombre y en especies no humanas.
- Producido un plan experimental y un informe sobre métodos para investigación en laboratorio relacionado con los efectos de la radiación en biota no-humana. El informe (*Plans for laboratory radiation effects studies*) cons-

tituye un valioso recurso para otros científicos que están interesados en investigación orientada a efectos y está disponible en <https://wiki.ceh.ac.uk/download/attachments/158597699/STAR+D5.1+Experiments+Common+Guidance+Final.pdf>

- Iniciado diversos experimentos piloto sobre: mezclas de contaminantes; efectos de la radiación en la especie de plantas *Lemna minor* y en el invertebrado *C. elegans*; así como realizado ejercicios en modelización de poblaciones, diseñados para proporcionar información sobre la mejor manera de extrapolar los efectos observados en los individuos a los impactos esperados a nivel de población.

Los logros de STAR en estos 18 meses, también se pueden evaluar por las publicaciones realizadas. Se han realizado nueve informes técnicos a la CE y se han publicado cinco artículos en revistas científicas.

Recordar que la página electrónica de STAR *Radioecology Exchange*, está disponible en [www.starradioecology.org](http://www.starradioecology.org), donde se puede encontrar más información sobre el proyecto y los resultados que se vayan obteniendo.

### Programa MODARIA del Organismo Internacional de Energía Atómica

El pasado mes de noviembre de 2012, comenzó el Programa MODARIA (*Modelling and Data for Radiological Impact Assessments*) promovido por el Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA) (<http://www.iaea.org/projects/modaria/default.asp?s=8&l=116>). Este Programa es la continuación de EMRAS-II (2009-2011), un programa centrado en el desarrollo de aproximaciones de referencia para distintos ámbitos, en el que se analizaron los modelos radioecológicos disponibles para evaluar la transferencia de radionucleidos en el medioambiente y las exposiciones resultantes al público, así como los impactos en flora y fauna (<http://www-ns.iaea.org/projects/emras/emras2>).

El objetivo general del Programa MODARIA es mejorar las capacidades en el área de las evaluaciones ambientales de dosis de radiación a través de la ad-

quisición de mejores datos que permitan probar los modelos; la comparación y prueba de modelos; y alcanzar consenso en las filosofías de la modelización, las aproximaciones y los valores de parámetros; el desarrollo de métodos mejorados y el intercambio de información. En definitiva el objetivo es que los estados miembros dispongan de las capacidades necesarias para asegurar un nivel de protección adecuado del hombre y del medioambiente, frente a los efectos perjudiciales de las radiaciones ionizantes.

Las actividades del Programa MODARIA hacen hincapié en la mejora de los modelos de transferencia medioambiental para reducir las incertidumbres asociadas y en el desarrollo de nuevas aproximaciones para fortalecer la evaluación del impacto radiológico al hombre, así como a la flora y la fauna, derivado de la presencia de radionucleidos en el medioambiente. Con la creación del Programa MODARIA se pretende continuar con las actividades del OIEA dirigidas a probar, comparar y elaborar directrices sobre la aplicación de modelos para la evaluación de exposiciones en el hombre y los impactos radiológicos en el medioambiente. Los resultados de las evaluaciones radiológicas se emplean, por ejemplo, en la valoración de la relevancia radiológica de descargas rutinarias o accidentales de radionucleidos, para apoyar a la toma de decisiones en trabajos de remediación y para la evaluación del rendimiento de los almacenamientos de residuos radiactivos.

Fortalecer las capacidades para la evaluación de los impactos radiológicos es un aspecto importante del Plan de Acción en Seguridad Nuclear del OIEA, que fue aprobado en la Conferencia General del OIEA de septiembre de 2011. El Programa MODARIA también apoyará y facilitará la implementación de las nuevas Normas Básicas de Seguridad (aprobadas en septiembre de 2011 por la Conferencia General del OIEA), y como previos programas de modelización medioambiental, MODARIA proporcionará un punto de encuentro internacional de expertos en el área y ayudará a los estados miembro a desarrollar y mantener los conocimientos y las competencias en las áreas de radioecología y evaluaciones ambientales.

Con objeto de identificar el interés y las necesidades de potenciales participantes



en un nuevo programa, una vez finalizó el programa EMRAS-II, el OIEA envió un cuestionario a un gran número de instituciones de todo el mundo. Así pues, el contenido y la estructura del Programa MODARIA ha sido elaborada teniendo en cuenta las respuestas a dicho cuestionario, así como la necesidad de facilitar la implementación de los requerimientos de protección radiológica recogidos en las nuevas Normas Básicas de Seguridad, en relación a las exposiciones del público en situaciones de exposición planificada, existente y de emergencia y los impactos radiológicos. MODARIA contará con diez grupos de trabajo centrados en cuatro temas principales:

- **Remediación de áreas contaminadas**

- Grupo de trabajo 1: estrategias de remediación y técnicas de ayuda a la toma de decisión.
- Grupo de trabajo 2: exposiciones en ambientes urbanos contaminados y efectos de las medidas de remediación.
- Grupo de trabajo 3: aplicación de modelos para la evaluación de los impactos radiológicos derivados de NORM y emplazamientos contaminados en el pasado con radiactividad.

- **Incertidumbres y variabilidad**

- Grupo de trabajo 4: análisis de datos radioecológicos de las publicaciones de la serie *Informes Técnicos del OIEA*, para identificar radionucleidos clave y valores de parámetros asociados para las evaluaciones de exposición de humanos y biota no-humana.
- Grupo de trabajo 5: análisis de incertidumbre y variabilidad para evaluaciones de impactos radiológicos derivados de descargas rutinarias de radionucleidos.
- Grupo de trabajo 6: marco común para hacer frente al cambio medioambiental en evaluaciones de seguridad a largo plazo de instalaciones de almacenamiento de residuos radiactivos.
- Grupo de trabajo 7: armonización e intercomparación de modelos para liberaciones accidentales de tritio.

- **Exposiciones y efectos en biota**

- Grupo de trabajo 8. Modelización de biota: desarrollos posteriores de los modelos de transferencia y exposición y aplicación en escenarios

- Grupo de trabajo 9: modelos para evaluar los efectos de la radiación en poblaciones de especies no humanas.

- **Modelización marina**

- Grupo de trabajo 10: modelización de la dispersión marina y de la transferencia de radionucleidos liberados accidentalmente de instalaciones en tierra.

La primera reunión técnica de MODARIA tuvo lugar en la sede del OIEA en Viena, del 19 al 22 de noviembre de 2012. A dicha reunión asistieron 151 participantes de 43 estados miembros. Durante la reunión se elaboraron los planes de trabajo detallados de cada uno de los 10 grupos de trabajo. Las actas de la reunión, la lista de participantes y las presentaciones realizadas en los diferentes grupos de trabajo pueden consultarse en:

<http://gnssn.iaea.org/RTWS/modaria/Shared%20Documents/Forms/AllItems.aspx?RootFolder=%2FRTWS%2Fmodaria%2FShared%20Documents%2FMODARIA%20Working%20Groups&FolderCTID=0x0120002E96A39C44735344AFE7141A55E798A1&View=%7B8A385A9B-3D19-46E8-9CDA-BD10A5990D6E%7D>

La segunda Reunión Técnica de MODARIA se celebrará en la sede del OIEA en Viena del 11 al 15 de noviembre de 2013.

### Conferencia Internacional sobre Radioecología y Radiactividad Ambiental

En septiembre del 2014, Barcelona acogerá la tercera Conferencia Internacional sobre Radioecología y Radiactividad ambiental (ICRER). Las dos ediciones anteriores de la Conferencia, celebradas en 2008, en Bergen (Noruega) y, en 2011, en Hamilton (Canadá), fueron un gran éxito, contando con la participación de cerca de 400 personas de 48

países y organizaciones internacionales.

Esta serie comenzó con el objetivo de organizar una conferencia cada tres años, para revisar y discutir los logros recientes alcanzados en radioecología y en disciplinas relacionadas. Las conferencias pretenden promover el continuo desarrollo de estos temas, para mejorar la protección radiológica del hombre y del medioambiente.

En la Conferencia Internacional sobre Radioecología y Radiactividad Ambiental de 2014, se discutirán los nuevos conocimientos científicos básicos adquiridos en investigación, las nuevas necesidades de la sociedad y los requisitos técnicos de los reguladores y la industria. Se tratará la predicción de las consecuencias de todas las fuentes de radiactividad: industriales, naturales (aumento de ellas), accidentales y potenciales. Además, se discutirá el diseño de rutinas apropiadas para la preparación de emergencias, así como el apoyo para la elaboración de leyes y reglamentaciones que protejan al hombre y a los ecosistemas de los efectos de la radiación. La conferencia de Barcelona será un foro clave para los investigadores, la industria, los reguladores y los expertos interesados en el tema de la radiactividad ambiental.

En la Conferencia se cubrirán los siguientes temas:

- Protección del medioambiente, vigilancia y gestión del riesgo.
- Preparación ante una emergencia, rehabilitación y gestión.
- NORM, incluyendo minas, refinerías, industrias no nucleares.
- Especiación de radionucleidos y transferencia ecológica.
- Sensibilidad radioecológica.
- Riesgos medioambientales en un contexto de múltiples factores de estrés y efectos radiobiológicos producidos por exposiciones crónicas a radiación.
- Gestión y almacenamiento de residuos radiactivos.
- Herencia nuclear.



La fecha límite para el envío de resúmenes es el 15 de septiembre de 2013. Para más información sobre la Conferencia de Barcelona, inscripciones, envío de trabajos, fechas importantes, etc. consultar la página <http://www.icrer.org/>

## **Simpósio sobre "Radiactividad ambiental: emplazamientos contaminados en el pasado, Chernobyl y Fukushima"**

Del 16 al 20 de junio de 2013 se celebrará en Athens (Georgia, EE.UU.) la 12ª Conferencia Internacional sobre la Biogeoquímica de Elementos Trazas (ICOBTE 2013). Dentro de dicha conferencia tendrá lugar el Simposio *Radiactividad ambiental: emplazamientos contaminados en el pasado, Chernobyl y Fukushima*.

El Simposio está organizado por Thomas Hinton, coordinador de STAR (Red de Excelencia en Radioecología Europea), con la colaboración de Francois Brechignac, presidente de la IUR, Brenda Howard del Centro de Ecología e Hidrología del Reino Unido; Astrid Liland, de la Autoridad Noruega de Protección Radiológica y Tamara Yankovich del Consejo de Investigación Saskatchewan de Canadá, entre otros.

El objetivo del Simposio es reunir a expertos de distintas disciplinas y proporcionar un foro abierto para aquellos que estén interesados en la contaminación radiactiva de los ecosistemas terrestres, marinos y de agua dulce. Algunas de las cuestiones de interés que se discutirán durante el Simposio son:

- ¿Cuáles son los procesos y variables clave que controlan la transferencia de radionucleidos en lugares contaminados?
- ¿Cuáles son los beneficios potenciales de los modelos basados en procesos y si pueden cuantificarse?
- ¿Tenemos modelos basados en procesos lo suficientemente desarrollados como para poder ser aplicados en diferentes escenarios?
- ¿Qué "lagunas" en el conocimiento puso de manifiesto el accidente de Fukushima?
- ¿Qué alternativas viables existen para reducir la incertidumbre de los modelos cuando no hay datos empíricos?

- ¿Cómo de importante es la especiación de las sustancias radiactivas, incluyendo partículas radiactivas, frente a las variables medioambientales, y si esto cambia con el tiempo y el espacio?
  - ¿Cuál es el impacto de la presencia de contaminantes no radiactivos en el comportamiento de los radionucleidos?
  - ¿Se necesitan nuevas tecnologías y métodos?
  - ¿Afectará el cambio climático a las transferencias de radionucleidos en el ecosistema?
  - ¿Cómo puede ser utilizada la optimización y los análisis multi-criterio para gestionar mejor los emplazamientos contaminados?
- Cuando se escribió esta noticia seguía abierto el plazo para enviar resúmenes al Simposio. Toda la información sobre la Conferencia y el Simposio se encuentra en <http://icobte2013.org/>

## **Máster Europeo en Radioecología**

La Universidad noruega de Ciencias de la Vida (UMB), tiene establecido desde hace años un Máster Europeo de Ciencias en Radioecología. El máster tiene una duración de 24 meses y se imparte en la UMB (Oslo, Noruega) en inglés.

En el máster, a través de diferentes métodos de aprendizaje, se adquieren conocimientos sobre radioecología, el comportamiento de los radionucleidos en el medioambiente, así como sobre la evaluación del impacto y del riesgo, la radioquímica, la protección radiológica, la industria nuclear y la gestión de residuos, la gestión de proyectos y los métodos de investigación.

El proceso de aprendizaje se basa en conferencias, trabajos de laboratorio, trabajo en grupo, casos de estudio de la vida real y tesis temáticas con un enfoque interdisciplinario y a través de la reflexión sobre la relación entre la vida real y la teoría.

Las competencias en estas áreas son necesarias no sólo para hacer frente a la potencia nuclear actualmente instalada y a las instalaciones en desmantelamiento, sino también para satisfacer las necesidades de las nuevas instalaciones

nucleares que se construyan en el futuro. La realización del máster puede ser de utilidad para diversos puestos de trabajo relacionados con las autoridades responsables de la legislación nacional y de la industria de la energía nuclear, por ejemplo en los ministerios, gobiernos, directorios, servicios, proyectos de desarrollo, asistencia técnica y consultoría, gestión, protección del medioambiente, así como dentro de las instituciones responsables de la investigación y la educación.

En el primer año del máster se realizan módulos básicos y se inicia el proyecto de investigación. El segundo año está dedicado a experimentos, recopilación y análisis de datos, es decir, la finalización de la tesis del master.

Los módulos del máster son:

- Proyecto de investigación + Plan de estudios especial (mínimo 5 ECTS).
- Protección radiológica y gestión de residuos.
- Gestión de riesgo y planificación de emergencias.
- Evaluación de riesgos en personas y medioambiente, ética.
- Gestión del proyecto y métodos de investigación.
- Radioecología – Comportamiento de los radionucleidos en el medioambiente.
- Radiación y radioquímica.

Los módulos se realizan en la UMB, con apoyo de las universidades europeas colaboradoras. Por ejemplo, existe un acuerdo de colaboración con la Universidad de Aix-Marseille, sobre su Máster en Ciencias de Medio Ambiente Terrestre, de tal manera que los estudiantes pueden realizar cursos en ambas universidades, consiguiendo todos los créditos en cada curso realizado.

Los requerimientos para realizar el Máster de Radioecología son contar con una Licenciatura (BSc) o formación equivalente en cualquier campo relacionado con el medio ambiente (por ejemplo, química, ecología, biología, gestión de recursos, agricultura, ciencias ambientales, ingeniería ambiental, geografía, etc.), pero con experiencia en química inorgánica. Además, los solicitantes deben demostrar habilidad en el idioma inglés, de acuerdo con la normativa de la UMB para los programas impartidos en este idioma.

Para más información sobre el master consultar la página <http://www.umb.no/study-options/article/european-mas->

ter-of-science-in-radioecology o contactar con el coordinador de estudios Ingrid F. Bugge (studieveileder-ipm@umb.no)

## Curso "Environmental Radiobiology"



El Curso *Environmental Radiobiology*, es un curso de doctorado (5 ECTS, *European Credit Transfer System*) organizado por la Universidad Noruega de Ciencias de la Vida (UMB) y la Universidad de Estocolmo, que se impartirá del 24 al 28 de junio de 2013 en la UMB (Oslo). El curso cuenta con el apoyo de las Redes de Excelencia Europeas DoReMi (*Integrating Low Dose Research*) y STAR (*Strategy for Allied Radioecology*).

El objetivo del curso es dar a los estudiantes una visión de conjunto de los principios fundamentales de la radiobiología, pero en el contexto de los efectos en la biota no-humana. El curso tratará tanto la historia como el estado del arte del conocimiento sobre los efectos biológicos de la radiación en los seres humanos, incluyendo cómo los estudios en efectos no dirigidos están "retando" a los paradigmas establecidos, centrándose específicamente en aquellos temas y aplicaciones más relevantes para especies no humanas. Esto incluye los efectos biológicos relevantes para organismos no humanos, maneras en las que los métodos de radiobiología y biomarcadores están siendo aplicados en investigación ecológica, factores que influyen la radiosensibilidad en diferentes organismos, y las evaluaciones ecológicas de riesgo. Los casos prácticos incluirán tanto investigación ecológica en Chernobyl y Fukushima, como trabajo de laboratorio sobre análisis de biomarcadores en organismos modelo.

Para estudiantes de radioecología, el curso proporciona la oportunidad de conseguir un mejor entendimiento de los fundamentos de la radiobiología; para los estudiantes de radiobiología ofrece la posibilidad de ver como los conceptos y las herramientas de radiobiología se aplican en otras áreas de investigación

de la radiación, logrando un entendimiento más profundo del tema. El curso se impartirá en inglés, y la fecha límite para inscribirse es el 31 de marzo de 2013. Las solicitudes para realizar el curso han de enviarse a la Dra. Debora Oughton (debor.oughton@umb.no).

Se puede encontrar más información sobre el curso en las páginas electrónicas de STAR ([www.star-radioecology.org](http://www.star-radioecology.org)) y de DoReMi ([www.doremi-noe.net](http://www.doremi-noe.net)).

## Publicación del OIEA sobre los resultados del Programa Environmental Modelling for Radiation Safety (EMRAS)

La publicación *Environmental Modelling for Radiation Safety (EMRAS). A Summary Report of the Results of the EMRAS Programme* del OIEA, describe los resultados y logros del Programa EMRAS que se desarrolló entre 2003 y 2007 (IAEA-Tecdoc 1678. 2012).

El Programa EMRAS se centró en el desarrollo, comparación y prueba de modelos de evaluación medioambiental para estimar la exposición a radiación en humanos y el impacto radiológico en flora y fauna debido a liberaciones actuales o potenciales de radionucleidos al medio ambiente terrestre y acuático.

Los modelos son herramientas esenciales para ser utilizadas en el control regulador de descargas rutinarias al medioambiente y en la planificación de medidas a tomar cuando hay liberaciones accidentales; también se utilizan para predecir el impacto que las liberaciones pueden tener en el futuro lejano, por ejemplo, en los almacenamientos geológicos profundos. Por ello, es importante comprobar la fiabilidad de las predicciones de estos modelos, realizando comparaciones con los valores medidos en el medioambiente o por comparación con las predicciones de otros modelos.

El programa EMRAS se centró en tres temas que cubrían aspectos de interés específico en relación con las exposiciones del público y los impactos medioambientales, con un total de siete grupos de trabajo:

En relación al tema **Evaluación de liberaciones radiactivas**, había cuatro grupos de trabajo, centrados en:

- La revisión del *Manual de los valores de los parámetros para la predicción de la transferencia de radionucleidos en ambientes templados* (Serie de Informes Técnicos, N° 364).
- La modelización de la transferencia del tritio y el carbono-14 al hombre y a la biota no humana.
- Estudiar la liberación de I-131 en Chernobyl: validación del modelo y evaluación de la eficacia de las contramedidas.
- Investigar la validación del modelo para el transporte de radionucleidos en el sistema acuático 'Cuenca-Río' y en los estuarios.

Sobre el tema **Remediación de sitios con residuos radiactivos**, existieron dos grupos que trabajaron en:

- La modelización de las liberaciones de NORM (*Naturally Occurring Radioactive Material*) y los beneficios de la remediación para sitios contaminados por las industrias extractoras (minería y molinero de uranio/torio, industria de petróleo y gas, industria de los fosfatos, etc.).
- Evaluaciones de remediación para zonas urbanas contaminadas con radionucleidos dispersos.

Respecto al tema **Protección del medioambiente**, hubo un grupo de trabajo centrado en la validación de modelos para la evaluación de dosis en la biota.

El informe resume el contenido y los resultados del Programa EMRAS. Los informes detallados de los siete grupos de trabajo se han publicado en un CD-ROM que acompaña al informe.

El informe puede descargarse en [http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE\\_1678\\_Web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE_1678_Web.pdf). En la página electrónica del IAEA se puede encontrar la información de cómo solicitar el CD-ROM.

## Concesión de Subvenciones del CSN para la realización de proyectos de I+D relacionados con la Protección Radiológica. Año 2012.

El Plan de Investigación y Desarrollo 2012-2015 del Consejo de Seguridad Nuclear contempla, entre las actividades necesarias para su implantación, la concesión de subvenciones para la realización de proyectos de investigación. En aplicación de este Plan, el CSN ha realizado en el año 2012 una convocatoria de concesión de subvenciones para la realización de proyectos de investigación en el campo de la protección radiológica.

La convocatoria ha sido amplia desde el punto de vista técnico, y ha contado con una dotación de 1.316.000 euros. Se han presentado 60 solicitudes de subvención, que han sido valoradas, con arreglo a los criterios incluidos en la convocatoria, por una Comisión de Valoración compuesta por personal del CSN. Este proceso de valoración, teniendo en cuenta posteriormente la cuantía económica disponible en la convocatoria, ha conducido a la concesión de subvenciones a los 11 proyectos que se incluyen en la tabla siguiente:

Título del proyecto	Entidad solicitante
Estudio de las concentraciones de radón en viviendas, lugares de trabajo y materiales de construcción en las Islas Canarias Orientales	Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
Desarrollo de metodologías para la estimación de las dosis al cristalino. Implicaciones operacionales de la aplicación del nuevo límite de dosis	Universidad Politécnica de Cataluña
Análisis de riesgo mediante matrices de riesgo de tratamientos radioterápicos hipofraccionados	Fundación para la investigación biomédica del Hospital Universitario 12 de octubre
Estudio del comportamiento de espectrómetros gamma de Bromuro de Lantano y adaptación para el muestreo en continuo de partículas en aire (mediante medida directa y sobre filtro de papel). Aplicación de métodos para la estabilización de espectros y determinación de las concentraciones de actividad isotópicas	Fundación Universidad Rovira y Virgili
Metodología analítica rápida para la determinación simultánea de emisores alfa y beta mediante centelleo líquido en aguas	Fundación Bosch y Gimpera. UB
Optimización de un procedimiento general para la determinación de isótopos de Torio en muestras ambientales e industriales	Universidad de Salamanca
Análisis automático de la calidad de imagen en radiodiagnóstico para la optimización de dosis en pruebas diagnósticas	Universidad de Castilla-La Mancha
Puesta a punto, gestión y optimización de una estación piloto para la detección automática y en tiempo cuasi-real de actividades específicas de radiopartículas y de radioyodos en aire	LARUEX, Universidad de Extremadura
Optimización de dosis de radiación recibida por pacientes pediátricos en cateterismos cardíacos y por cristalino de trabajadores expuestos en procedimientos intervencionistas	Fundación de Investigación Biomédica del Hospital Universitario La Paz
Hacia una valoración realista de los riesgos de las mamografías	Universidad Autónoma de Barcelona
Caracterización radiactiva de los materiales de construcción y evaluación de su actividad específica e impacto radiológico	Universidad de Málaga

No está prevista la realización de convocatorias de concesión de subvenciones para proyectos de I+D durante el año 2013, pero sí se prevé la preparación de una nueva convocatoria en el año 2014 si las disponibilidades presupuestarias lo permiten.

*José Manuel Conde, CSN*

## Jornada sobre la investigación nuclear tras Fukushima

La Plataforma Tecnológica Nacional de Investigación sobre Energía Nuclear de Fisión (CEIDEN), celebró el día 15 de octubre de 2012, en el salón de actos de la Escuela Técnica Super-

- rior de Ingenieros Industriales de Madrid, una Jornada sobre la
- I+D nuclear tras el accidente de la central nuclear de Fukushima
- (Japón). El objeto de esta jornada ha sido el debatir sobre las
- posibles áreas del conocimiento relacionadas con la energía nuclear
- en las que se ha identificado que habría que profundizar,
- tras los análisis del accidente de Fukushima y sus consecuencias.



La apertura de la jornada fue realizada por el director de la ETSII, por el director general de la Energía (Minetur) y por el presidente de la Plataforma Ceiden, y vicepresidente del CSN, Antonio Colino.

A continuación se realizaron las siguientes presentaciones de carácter técnico:

- **La I+D nuclear en Japón tras Fukushima**, realizada por el Dr. Kuniyoshi Soda, de la Agencia Japonesa de Energía Atómica (JAEA), quien tras una descripción de la situación de la energía nuclear en Japón, se centró en los aspectos de seguridad identificados a raíz del accidente de Fukushima, y en las necesidades de investigación asociadas que están siendo abordadas en Japón.
- **Nuevas líneas de I+D identificadas como consecuencia de las pruebas de resistencia europeas**, realizada por Rosario Velasco, consejera del CSN. En esta presentación se describió el proceso de realización de las pruebas de resistencia y sus resultados, así como las potenciales líneas de investigación asociadas a los mismos.

El programa de la jornada continuó con la realización de una mesa redonda moderada por la Consejera Velasco, y en la que, además del Dr. Soda, participaron los siguientes expertos:

- Javier Reig, responsable de la División de Seguridad Nuclear de la Agencia de Energía Nuclear (NEA) de la OCDE, quien realizó la presentación *Integrated NEA Response to the Fukushima Dai-ichi NPP Accident*, en la que describió el proceso seguido en la NEA para proporcionar apoyo a Japón en los distintos campos de actuación y la labor de coordinación de la participación internacional en los proyectos de I+D que realiza la NEA.
- Luis Herranz, responsable del Grupo de Investigación sobre Seguridad Nuclear del Ciemat, quien presentó la visión de la Plataforma Tecnológica Europea sobre Energía Nuclear Sostenible (SNETP) sobre las necesidades de investigación tras Fukushima.
- Jean P. Sursöck, del Instituto de Investigación sobre Energía Eléctrica (EPRI), quien describió el proceso seguido por EPRI para identificar los aspectos que precisan investigación y la forma de conseguir que los resultados que se obtengan tengan una aplicabilidad lo más global posible.

Finalmente, se mantuvo un coloquio que contó con una nutrida participación de los numerosos asistentes. La clausura de la jornada contó con la participación del presidente de Enresa, de Antonio Colino y de la presidenta del CSN, Carmen Martínez Ten.

Las presentaciones de la jornada pueden consultarse en la web del Ceiden, en la dirección <http://ceiden.com/2012/10/31/presentaciones-de-la-jornada-idi-tras-fukushima/>

José Manuel Conde, CSN.

## Jornada sobre Radón

Organizada por el Grupo Radón de la Universidad de Cantabria, tuvo lugar el 7 de noviembre en la sede del Consejo de Seguridad Nuclear una "Jornada sobre Radón". Esta actividad estaba enmarcada dentro de las "Acciones divulgativas rela-



cionadas con el gas radón", programa subvencionado por el CSN dentro del plan de ayudas para la realización de actividades de formación, información y divulgación del año 2012 (BOE, 29 de febrero de 2012).

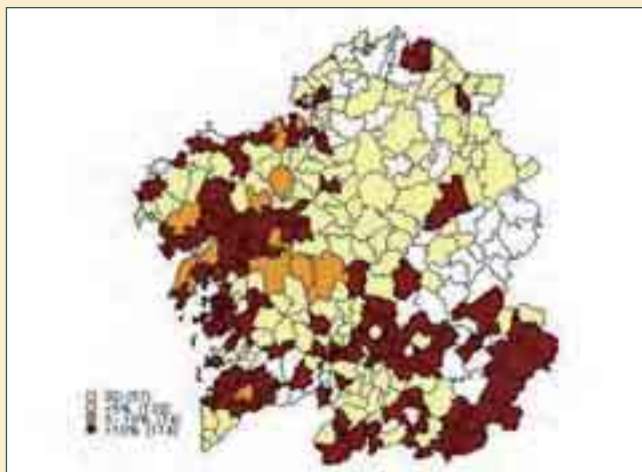
La bienvenida a los asistentes corrió a cargo del vicepresidente del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), Antonio Colino, quien expuso en su intervención las características del  $^{222}\text{Rn}$  y sus descendientes y los riesgos que para la salud de los trabajadores y los miembros del público implica la exposición a estos radionucleidos en el interior de edificios, así como la disposición del CSN en proponer y apoyar programas para conocer y reducir la exposición de la población a niveles aceptables en los casos en que fuera necesario. Destacó el inicio por parte del CSN, ya en el año 1989, de un programa de protección de la población a la radiación natural, centrado principalmente en la medida de concentraciones de radón en viviendas, y la puesta en marcha, en el año 2001, de un plan de actuación para el desarrollo del Título VII "Fuentes naturales de Radiación", del Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes.

En la jornada, adicionalmente a la Universidad de Cantabria, representada por el profesor Luis Santiago Quindós, participaron el profesor Alberto Ruano, de la Universidad de Santiago de Compostela y, por parte del CSN, Lucila M<sup>o</sup> Ramos, subdirectora de Protección Radiológica Ambiental y José Luis Martín Matarranz, consejero técnico.

El profesor Quindós presentó la situación del proyecto "Radón 10x10", realizado mediante un acuerdo de colaboración entre el CSN y la Universidad de Cantabria, con la participación adicional del Grupo de Física de las Radiaciones de la Universidad Autónoma de Barcelona y el Área de Medicina Preventiva y Salud Pública de la Universidad de Santiago de Compostela.

El objetivo del proyecto, del que ha finalizado su primera fase, era ampliar el mapa de concentraciones de radón en viviendas siguiendo criterios de densidad de población y de riesgo de exposición al radón en las zonas correspondientes. Los criterios adicionales, valores medios de  $^{222}\text{Rn}$  en áreas de 10 x 10 km y medidas de concentración en plantas bajas y primeros pisos, se adaptaron a los indicados por la Comisión Europea para la construcción del denominado *European Indo-*





Mapa del radón de Galicia (municipios).

or Radon Map, en el que están participando unos 20 países junto con el nuestro.

El profesor Ruano presentó la ponencia titulada "El radón, un problema de salud pública" donde explicó las evidencias científicas que califican al  $^{222}\text{Rn}$  como elemento inductor de cáncer de pulmón, entre ellas, los resultados de los estudios epidemiológicos residenciales y mineros. El radón residencial es el segundo factor extrínseco de riesgo de cáncer de pulmón detrás del tabaco y el primero en el caso de los no fumadores.

El profesor Ruano expuso los resultados de los estudios que el Área de Medicina Preventiva y Salud Pública está llevando a cabo en Galicia para determinar la relación entre exposición al radón residencial y el cáncer de pulmón, entre ellos, la relación de la exposición en no fumadores, primer estudio a nivel mundial que está llevando a cabo el grupo investigador junto con otros hospitales gallegos y un hospital asturiano.

Ante la pregunta que se está haciendo la comunidad científica sobre si la exposición residencial al  $^{222}\text{Rn}$  puede ser el origen de otro tipo de enfermedades, el Área de Medicina Preventiva y Salud Pública ha iniciado, en colaboración con el

Centro Nacional de Epidemiología, el estudio para estimar la posible incidencia de dicha exposición sobre la aparición de cáncer de estómago.

Dentro de las ponencias presentadas por el CSN, Lucila María Ramos, bajo el título "Actuación del CSN para la protección frente al radón", expuso las actividades que desde el año 1989 y hasta el momento presente ha venido desarrollando este organismo en relación a la protección de los trabajadores y el público a las fuentes de radiación natural, principalmente al  $^{222}\text{Rn}$  y sus descendientes. Estas actividades se enmarcaron, en un principio, dentro de dos proyectos genéricos denominados *Radón* y *Marna*, iniciados respectivamente en los años 1989 y 1991, y posteriormente, dentro de un programa más amplio denominado *Plan de Acción de Protección a la Radiación Natural*, que se inició en el año 2002 una vez aprobado el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes (Real Decreto 783/2001 de 6 de julio).

José Luis Martín Matarranz en la presentación "Desarrollos normativos recientes" llevó a cabo una exposición sobre la normativa específica que estaba elaborando el CSN dentro del Plan de Acción de Protección a la Radiación Natural, siendo los principales documentos publicados, la Instrucción IS-33 "Sobre criterios radiológicos para la protección frente la exposición a la radiación natural" y la Guía de Seguridad 11-2 "Control de la exposición a fuentes naturales de radiación", donde se recogen los criterios radiológicos aprobados por el pleno el 21 de diciembre de 2011, considerando la modificación del Reglamento de protección sanitaria mediante el Real Decreto 1439/2010, de 5 de noviembre, y las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud en su publicación del año 2009 "*WHO Handbook on Indoor Radon*". Adicionalmente, y tomando como base el contenido del último borrador de mayo de 2012 editado por la Comisión Europea, se indicaron los principales criterios de protección al radón en viviendas, edificios con acceso público y lugares de trabajo que se está considerando incluir en la nueva Directiva sobre normas básicas de seguridad.

José Luis Martín Matarranz, CSN.

## NOTICIAS del MUNDO

### Impacto al Medioambiente de Vertidos Potenciales procedentes de Sistemas Energéticos Nucleares (INPRO-ENV-PE)

España es miembro del Proyecto INPRO (*International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles*) desde su creación. INPRO es un proyecto del Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA), establecido el año pasado, que tiene como fin asegurar que la energía nuclear se encuentre disponible para poder contribuir a alcanzar los objetivos energéticos del siglo 21 de un modo



Participantes en la reunión de lanzamiento del proyecto INPRO-ENV-PE.

sostenible. Actualmente INPRO está constituido por 37 países más la Unión Europea.

Dentro de INPRO se realizan programas que son de interés mutuo para todos los países miembros, siendo distribuidos los resultados a todos los países miembros del OIEA. Para ello existen 4 subproyectos dentro de INPRO, dedicándose el primero de ellos a establecer estrategias nacionales a largo plazo para la energía nuclear. Dentro de este subproyecto existe un apartado dedicado al impacto ambiental de estos sistemas de energía nuclear (INPRO-ENV) que desarrolla metodologías para su evaluación. En su anterior fase desarrolló una metodología para evaluar el impacto debido a las descargas rutinarias en operación normal.

Durante los días 10 al 12 de octubre se lanzó la nueva fase (INPRO-ENV-PE) en la que se pretende desarrollar una metodología que cubra las exposiciones potenciales y que sea congruente con la desarrollada en la fase anterior. Para ello se organizó una reunión de consultores en la sede del OIEA en Viena a la que asistieron representantes de 10 países que ya utilizan la energía nuclear o bien se encuentran en las fases preliminares de su utilización (Alemania, Argentina, Bielorusia, Francia, India, Indonesia, Israel, Federación Rusa, España y Ucrania).

En esta reunión se discutieron y definieron los objetivos del proyecto que serán desarrollados en los próximos dos años, incluyendo las tareas que deberán realizarse. Además se estableció la fecha de la siguiente reunión del grupo, que se celebrará el próximo mes de mayo en la sede del CIEMAT en Madrid.

Toda la información sobre dicho proyecto puede encontrarse en la web del OIEA en [www.iaea.org/INPRO/CPs/ENV-PE/1st\\_consultancy/index.html](http://www.iaea.org/INPRO/CPs/ENV-PE/1st_consultancy/index.html)

Juan Carlos Mora. Ciemat

### Reunión de la European ALARA Network for Naturally Occurring Radioactive Materials -EAN NORM

Los días del 4 al 6 de diciembre de 2012 tuvo lugar en Dresden, Alemania, el 5º *Workshop* anual de la Red europea EAN NORM. Esta vez el lema de la reunión ha sido *Measurement strategies in NORM*. El *workshop* se completaba con un día monográfico dedicado a la industria del gas y del petróleo.

Se reunieron más de 60 personas de 11 países, pertenecientes a empresas de servicios, centros de inves-



tigación, universidades, industrias NORM, y organismos reguladores. Las reuniones han tenido también una componente práctica en la que se han presentado equipos de medida y criterios para medir en las diferentes situaciones que se dan a la hora de evaluar este tipo de industrias, haciendo énfasis en la necesidad de combinar medidas *in situ* con medidas en laboratorio y las técnicas de medida que se deben aplicar y los radionucleidos que se deben medir en función de la pérdida de equilibrio secular de las cadenas radiactivas naturales en los materiales de partida y en los residuos o subproductos resultantes del proceso industrial en las diferentes industrias NORM.

Por parte de España asistieron Núria Casacuberta y Beatriz Robles, ambas miembros de la red, que presentaron el próximo *Workshop* que bajo el lema *Alternatives in NORM wastes management: Dilution, valorisation, recycling, reuse and other innovative alternatives* se celebrará en el Ciemat del 2 al 5 de diciembre de 2013.

Núria Casacuberta y Beatriz Robles  
Miembros del comité organizador del 6º *Workshop* EAN-NORM

### Conferencia Internacional sobre Protección Radiológica en Medicina

Del 3 al 7 de diciembre (2012) tuvo lugar en Bonn, Alemania, la Conferencia Internacional sobre Protección Radiológica en Medicina ("Definición del escenario para la próxima década") organizada por la Organización Internacional de la Energía Atómica, copatrocinada por la Organización Mundial de la Salud y auspiciada por el Gobierno de Alemania a través del Ministerio Federal de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear.

535 participantes en representación de 77 estados miembros y 16 organizaciones asistieron a la Conferencia, que se celebró en el *World Conference Center Bonn*.

Esta Conferencia recoge el testigo del trabajo iniciado en Málaga (España) en marzo de 2001, que culminó en la elaboración y ejecución de un plan de acción internacional dirigido a potenciar los esfuerzos de todas las naciones hacia la protección radiológica del paciente.

Los objetivos de la Conferencia de Bonn han sido:

- Poner de manifiesto las deficiencias en los enfoques actuales de la protección radiológica en medicina.
- Identificar las herramientas que nos permitan mejorar la protección contra las radiaciones en la medicina.
- Revisar los avances, retos y oportunidades en el campo de la protección radiológica en medicina.
- Evaluar el impacto del Plan de Acción Internacional para la protección radiológica de los pacientes, con el fin de preparar nuevas recomendaciones internacionales, teniendo en cuenta los nuevos desarrollos.

La apertura de la Conferencia estuvo a cargo de M. Pinak (OIEA) e intervinieron como conferenciantes personalidades de reconocido prestigio en la protección radiológica en medicina.

Las ponencias versaron sobre diferentes cuestiones, entre otras, cabe destacar las siguientes sesiones:

- **Sesión 1:** justificación del uso de las radiaciones en medicina, siendo D. Remedios (CE), el conductor del tema.

En esta sesión se hizo especial hincapié en la relevancia del principio de justificación en el ámbito de la protección radiológica del paciente, señalando el especial esfuerzo que se está realizando en el desarrollo de criterios clínicos apropiados y guías de referencia para los médicos prescriptores. Se dedicó una atención especial tanto a la justificación de la exposición como a la optimización de la dosis de radiación en la edad pediátrica. Ambos son objetivos que requieren la concienciación de todos los agentes implicados en el proceso de diagnóstico.

- **Sesión 2:** protección radiológica de los pacientes sometidos a tratamiento con Radioterapia externa, siendo el introductor del tema P. Ortiz (ICRP).

En esta sesión se destacó el impacto sobre los pacientes de las nuevas tecnologías relacionadas con el tratamiento radioterápico, así como los temas médicos asociados con los accidentes en Radioterapia. A destacar, el sistema de información de accidentes en radioterapia SAFRON (*Safety in Radiation Oncology*) que ha puesto en marcha la OIEA para contribuir a alcanzar altos niveles de seguridad y reducir la probabilidad de accidentes/incidentes relacionados con los tratamientos oncológicos.

- **Sesión 3:** protección radiológica de los pacientes y trabajadores en medicina nuclear, siendo S. Mattsson (Suecia) el conductor de la misma. En esta sesión se incidió de nuevo en la importancia de la justificación de procedimientos con PET/CT en la población infantil.

- **Sesión 4:** protección radiológica de los pacientes, trabajadores y público en relación con el uso terapéutico de fuentes radiactivas encapsuladas y no encapsuladas, siendo R. Czarnwinski (BFS) el introductor del tema.

La sesión básicamente analizó la protección radiológica de los pacientes sometidos a tratamientos con fuentes no encapsuladas y encapsuladas, en la próxima década. Se analizaron diferentes radiofármacos, así como sus aplicaciones.

- **Sesión 5:** protección radiológica de pacientes y trabajadores en procedimientos de radiología intervencionista. En este caso, M. Rehani (OIEA) se encargó de presentar la sesión.

Durante la misma, se abordó la necesidad de establecer unos niveles de referencia de dosis unidos al propio proceso de calidad de imagen o información diagnóstica, así como la necesidad de estandarización y consenso en los procedimientos de radiología intervencionista y de formación en protección radiológica. Se dejó constancia de la importancia de informar a los pacientes, equilibrando adecuadamente los riesgos radiológicos con los posibles beneficios médicos. Se hizo hincapié en la importancia de reducir el nivel de exposición del personal que interviene en este tipo de procedimientos, así como la necesidad de llevar a cabo una vigilancia de la dosis a cristalino en este tipo de trabajadores, habida cuenta de la reciente recomendación de reducción del límite de dosis a cristalino.

- **Sesión 6:** protección radiológica de pacientes sometidos a estudios con CT, siendo P.L. Khong (China), el introductor del tema. En esta sesión se destacó la importancia de justificar los estudios de TC en pediatría y la necesidad de elaborar guías de referencia para los médicos prescriptores, destacando la responsabilidad de cada una de las partes. Hay que aumen-

tar la concienciación a este respecto, así como usar equipos dedicados que disminuyan las dosis recibidas por estudio.

Las últimas dos sesiones trataron sobre protección radiológica del paciente sometido a estudios con procedimientos de radiología digital, mamografía y fluoroscopia, así como protección radiológica de pacientes y trabajadores en relación a procedimientos llevados a cabo fuera de los departamentos de Radiología, siendo L. Lau (Australia) y E. Etard (Francia) los conductores de las mismas, respectivamente.

Las conferencias fueron seguidas de mesas redondas que permitieron el intercambio de información entre el grupo de expertos y la audiencia. Destacable fue la mesa redonda donde se debatió sobre los objetivos para el año 2020 en relación con la protección radiológica en Medicina, presidida por W. Weiss (Unsclear).

Además se incluyeron dos interesantes sesiones de trabajo:

**La primera**, presidida por W. Weiss, presidente de Unsclear, con el objetivo de profundizar en el entendimiento entre la comunidad científica, los reguladores y las autoridades sanitarias en relación a la interpretación de los datos científicos de la exposición médica, siendo los estudios sobre exposición médica y el Informe Unsclear 2012 la base científica de las presentaciones y discusiones y,

**La segunda**, presidida por Eliseo Vañó (presidente del WP MED del Art.31), donde se pusieron de manifiesto los aspectos novedosos de la propuesta de la Directiva europea que afectan a la protección radiológica en medicina.

Finalmente, la sesión de conclusiones fue presidida por W. Weiss (Unsclear) y María Pérez (OMS), siendo los ponentes W. Hendee (USA), J. Le Heron (OIEA), E. Vañó (España), A. González (Argentina), W. Weiss (Alemania), y P-S Hahn (OIEA).

Los resultados y conclusiones de la conferencia servirán de base para que los expertos del OIEA propongan nuevas actuaciones encaminadas a continuar desarrollando la aplicación del sistema de protección radiológica en el ámbito de las exposiciones médicas.

En la siguiente dirección están recogidas parte de las presentaciones magistrales llevadas a cabo durante el desarrollo de la conferencia. Las conclusiones finales, una vez preparadas, aparecerán en la misma página. Os invitamos a visitarla.

<https://rpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Content/News/international-conference-radiation-protection-medicine-news.htm>

M<sup>a</sup> Dolores Rueda, CSN

## Lecciones aprendidas del accidente de Fukushima en relación con el sistema de protección radiológica de ICRP

En junio de 2011, la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) creó un grupo de trabajo (ICRP TG84) para recoger las lecciones preliminares aprendidas del accidente de la central nuclear de Japón en relación con el sistema de protección radiológica recomendado por la ICRP.

El grupo de trabajo, liderado por el vicepresidente de ICRP, Abel González, identificó dieciocho temas de debate y formuló una serie de recomendaciones importantes, que fueron publicadas en un informe de título *Report of ICRP task group 84 on*

*initial lessons learned from the nuclear power plant accident in Japan vis-a-vis the ICRP system of radiological protection.* Este informe, disponible para su descarga en la página web de ICRP ([www.icrp.org](http://www.icrp.org)), establece las bases de algunas de las medidas a considerar por ICRP en su programa de trabajo para los próximos años. Los problemas identificados y recomendaciones realizadas fueron los siguientes:

**Inferencia del riesgo por radiación:** tras el accidente, afloraron algunas voces indicando que el riesgo actual de la exposición a la radiación es mucho mayor que los coeficientes nominales de riesgo\* recomendados por ICRP, en particular se cuestionó el factor de eficacia de la dosis y tasa de dosis (DDREF)\*\* usado para la estimación del riesgo por radiación a bajas dosis. Los numerosos fundamentos biológicos, epidemiológicos y éticos que apoyan las nociones básicas del uso de estos coeficientes con fines de protección radiológica fueron malentendidos por la mayoría del público en Japón, y los medios contribuyeron a este mal entendimiento, en parte porque su nomenclatura es complicada, incluso en inglés, pero especialmente después de ser traducida al japonés y otros idiomas. La revisión de la información biológica y epidemiológica sobre los riesgos a la salud atribuibles a la radiación ionizante llevada a cabo en las nuevas recomendaciones de la ICRP han confirmado las estimaciones previas de dichos coeficientes, que son coherentes y consistentes con las estimaciones del Comité Científico de Naciones Unidas sobre los efectos de las Radiaciones (UNSCEAR).

**Efectos sobre la salud por exposición a bajas dosis:** a raíz del accidente, se realizaron estimaciones de hipotéticas muertes futuras atribuibles a la exposición a la radiación por distintos agentes, que oscilaron entre algunas decenas de casos en las revisiones inter-pares hasta medio millón de casos en algunos medios de comunicación. ICRP destaca en su informe que el cálculo teórico de la dosis efectiva colectiva (a partir de la suma de pequeñas dosis individuales sobre grandes poblaciones) no debe ser utilizado para atribuir efectos sobre la salud de las situaciones de exposición a la radiación ni retrospectivamente ni para exposiciones potenciales. No obstante, sí puede ser útil a los organismos responsables de la toma de decisiones para imponer medidas de protección a bajas dosis.

**Cuantificación de la exposición a la radiación:** las magnitudes y unidades utilizadas para cuantificar la exposición a la radiación en términos de dosis causaron grandes problemas de comunicación, debido, entre otros, a la dificultad para explicar y entender la diferencia entre magnitudes utilizadas en el sistema de protección radiológica y magnitudes para la medida de la radiación, al uso de la misma unidad (sievert) para la expresión de dosis equivalente y dosis efectiva y a la falta de entendimiento general de las razones de la existencia de tantas magnitudes distintas, tanto dosimétricas como radiométricas. A pesar de estas dificultades, en el informe se subraya que aun-

\**Coefficientes nominales de riesgo: Estimaciones de riesgo durante toda la vida para una población representativa, promediados por sexo y por edad en el momento de la exposición. (Publicación 103 ICRP "Las recomendaciones 2007 de la ICRP").*

\*\**Factor de eficacia de dosis y tasa de dosis (DDREF): Factor estimado que generaliza la eficacia biológica generalmente más baja (por unidad de dosis) de las exposiciones a dosis bajas y tasas de dosis bajas de radiación, con respecto a exposiciones a dosis y tasas de dosis altas. (Publicación 103 ICRP "Las recomendaciones 2007 de la ICRP").*

- que estas magnitudes y unidades no sean las más adecuadas para comunicación y toma de decisiones en situaciones de emergencia y post-emergencia, han sido un éxito en su aplicación a la protección radiológica práctica, objetivo para el que fueron introducidas.

- **Evaluación de la importancia de las exposiciones internas:** el sistema de protección radiológica de ICRP, para una determinada dosis, es más conservador en el caso de las exposiciones internas que en el de las externas, debido a que, en el primer caso, considera la acumulación de dosis a través del tiempo. Tras el accidente se observó que, para una dosis dada, se percibían las exposiciones internas como más peligrosas que las externas. ICRP destaca que, para una dosis dada, debería esperarse el mismo riesgo tanto si la irradiación proviene del exterior como del interior del cuerpo.

- **Gestión de crisis en emergencias:** se identificaron diversos problemas relacionados con la gestión de la crisis tras un grave accidente, entre ellos, el manejo de situaciones de exposición causadas por una liberación prolongada (en vez de aguda) de sustancias radiactivas a la atmósfera, la consecuente necesidad de extensibilidad de las zonas de planificación de la emergencia, la priorización de las medidas de protección, la planificación del levantamiento de las medidas de protección y el tránsito desde la situación de exposición en emergencia a la situación de exposición existente.

- **Protección de rescatistas y voluntarios:** el sistema de protección radiológica ICRP está fundamentalmente dirigido a trabajadores (informados) en situación normal o de emergencia. Tras el accidente, se detectó la ausencia de recomendaciones ad hoc para rescatistas (miembros de los cuerpos de defensa, bomberos, etc.) y voluntarios, lo que produjo cierta confusión en la aplicación de límites de dosis, creando un problema de credibilidad.

- **Respuesta médica:** ante un accidente radiológico de esta naturaleza, se ha identificado la necesidad de contar con una asistencia sanitaria multidisciplinar, de realizar entrenamientos sobre emergencias radiológicas médicas empleando escenarios en los que se haya producido un accidente nuclear causado por episodios naturales extremos y de que el personal médico tenga nociones básicas de las radiaciones y sus efectos.

- **Justificación de la necesidad de contramedidas perturbadoras:** algunas de las medidas de protección del público previstas tras un accidente radiológico o nuclear pueden ser perturbadoras y producir ansiedad y estrés en la población, como es el caso de la evacuación. ICRP recomienda la aplicación del principio de justificación en el uso de este tipo de contramedidas, considerando en el balance de beneficios y perjuicios, factores adicionales no relacionados con la protección radiológica.

- **Transición de exposición de emergencia a exposición existente:** otra de las necesidades destapadas tras el accidente fue la de establecer recomendaciones claras y cuantitativas del momento de finalización de la situación de exposición en emergencia y su paso a una situación de exposición existente.

- **Rehabilitación de áreas evacuadas:** una de las lecciones aprendidas del accidente de Chernóbil, que se puso de manifiesto de nuevo tras Fukushima, fue la dificultad para rehabilitar un área evacuada por accidente nuclear. En el momento en que las personas, tras un periodo de traslado, deciden volver



a sus casas, aun permaneciendo niveles algo elevados de exposición, surgen ciertos interrogantes como qué categoría de exposición considerar, de qué tipo de exposición se trata o cómo debe ser controlada. En Japón las recomendaciones ICRP causaron confusión entre el público, que interpretó que la vuelta a casa es una situación de exposición planificada a la que le aplica un límite de dosis de 1 mSv/año, mientras que ICRP considera implícita en sus recomendaciones que una evacuación temporal conlleva a una situación de exposición existente (nivel de referencia 1-20 mSv/año de acuerdo con la situación).

**Categorización de exposiciones debidas a un accidente:** el sistema de protección radiológica de ICRP establece que la situación de exposición en emergencia debe ser controlada mediante niveles de referencia, considerando que las restricciones de dosis y límites de dosis de aplicación antes del accidente deben ser "suspendidas" o "relajadas" para actuar sobre la emergencia, sin incumplir los principios de protección radiológica para prevenir efectos deterministas y reducir el riesgo de efectos estocásticos.

Por otro lado, la exposición del público durante una emergencia podría ser tratada como una situación de exposición existente, lo que resolvería el problema de transición de una situación a otra, aunque el marco temporal y el control de la fuente difieran en ambos casos. Mientras que en situación de emergencia, las medidas de protección deben ser aplicadas urgentemente y en base a estimaciones de dosis, en situación existente las medidas deben ser tomadas sobre la base del conocimiento de las condiciones de la exposición y, frecuentemente, en medidas de dosis.

**Restricciones de dosis en miembros del público:** aunque las recomendaciones de ICRP contemplan la mayor parte de los problemas sobre restricciones de dosis individuales, quizá fallan a la hora de expresar con claridad la garantía de protección bajo cualquier circunstancia demandada por el público. Por ejemplo, no queda claro para la población que los niveles de referencia recomendados en situación de emergencia proporcionen suficiente protección a los miembros del público, puesto que son niveles de dosis más elevados que los límites utilizados en situaciones de exposición planificada. Tampoco queda clara la lógica de las cifras recomendadas por ICRP.

**Protección de los niños:** este fue un tema de gran preocupación en Japón tras el accidente. Los padres desconfiaban de que los niveles de dosis establecidos para la protección a la población fueran suficientemente seguros para sus hijos, estando convencidos de que los niños son más susceptibles a los efectos de la exposición a la radiación que los adultos. En el informe se pone de manifiesto la indisponibilidad de un documento de ICRP definitivo que contenga recomendaciones específicas para la protección de los niños.

**Protección de mujeres embarazadas y fetos:** las recomendaciones de ICRP para mujeres embarazadas y sus fetos están focalizadas en mujeres trabajadoras o pacientes, revelando la ausencia de recomendaciones para mujeres miembros del público. La problemática reside en que, en el caso de situaciones de exposición en emergencia y exposiciones existentes, deben considerarse los cambios biocinéticos de los radionúclidos en relación con las diferentes fases del desarrollo del embrión.

**Monitorización para la protección del público:** en este sentido surgieron dos cuestiones principales: la necesidad del estableci-

miento de una política general de vigilancia radiológica ambiental tras un accidente y el motivo de la monitorización individual únicamente de los trabajadores y no de los miembros del público. Mientras que existen recomendaciones para el seguimiento del público en situación de exposición prolongada en zonas contaminadas tras un accidente nuclear, se descubrió un vacío en este sentido para los primeros momentos tras el accidente.

**Territorios contaminados, escombros, residuos y productos de consumo:** no existen claras recomendaciones cuantitativas de la ICRP para hacer frente a la remediación de los territorios contaminados y la eliminación de escombros contaminados, cuestiones importantes para hacer frente a las secuelas de los accidentes que involucren la liberación de grandes cantidades de sustancias radiactivas al medioambiente.

En el caso de productos de consumo como alimentos, agua y productos no comestibles, las medidas tomadas tras el accidente y los acuerdos entre gobiernos fueron incoherentes e inconsistentes entre ellos. La ausencia de directrices claras en este sentido causó muchos problemas a las autoridades y es uno de los problemas más importantes a resolver.

**Importancia de las consecuencias psicológicas:** ICRP no reconoce en sus recomendaciones efectos psicológicos asociados a la exposición a la radiación. No obstante, el accidente de Japón confirmó que las consecuencias psicológicas son efectos sobre la salud atribuibles al accidente, por lo que se considera que la planificación de las emergencias debería tener en cuenta la gestión de consecuencias psicológicas sobre la población y sus problemas asociados.

**Promover la comunicación:** se han identificado una serie de problemas relacionados con la comunicación pública de las políticas de protección radiológica después de un accidente. En estos casos es importante tener en cuenta el papel relevante de los medios de comunicación y las redes sociales, la importancia de compartir la información con regularidad y la necesidad de informar a personal sanitario, profesores y profesionales inexpertos en materia de protección radiológica.

Concluyendo, el grupo de trabajo lanzó en su informe una serie de recomendaciones dirigidas a la Comisión de ICRP para su consideración entre las medidas a adoptar con objeto de asegurar que:

- Los coeficientes de riesgo de efectos potenciales sobre la salud sean interpretados correctamente.
- Las limitaciones de los estudios epidemiológicos a bajas dosis sean bien entendidas.
- Se resuelva la confusión entre magnitudes y unidades de protección radiológica.
- Se interprete correctamente el peligro potencial de la ingesta de radionúclidos.
- Los rescatadores y voluntarios sean protegidos con un sistema *ad hoc*.
- Se elaboren recomendaciones claras sobre gestión de crisis, asistencia sanitaria y recuperación y rehabilitación de áreas afectadas.
- Se elaboren recomendaciones sobre niveles de protección del público (incluyendo niños, embarazadas y sus fetos), categorización de exposiciones públicas, tránsito de situación de emergencia a situación existente y rehabilitación de áreas evacuadas, que sean consistentes e inteligibles.
- Se actualicen las recomendaciones sobre monitorización del público.



- Se definen niveles de contaminación tolerables para productos de consumo, escombros y residuos.
- Se propongan estrategias de mitigación de consecuencias psicológicas tras accidentes radiológicos.
- Se fomente compartir información para minimizar los problemas de comunicación.

Comité de redacción

### In Memoriam João Quintela de Brito

Con gran pesar, nuestros colegas de la Sociedad Portuguesa de Protección Contra las Radiaciones (SPPCR) nos han transmitido la noticia del fallecimiento el pasado día 16 de enero del doctor Fausto João José Quintela de Brito, fundador y presidente de la Sociedad Portuguesa de Protección Radiológica.

João fue un gran amigo de la SEPR. Y de España. Siempre tenía un hueco en sus congresos y reuniones científicas para nosotros reservándonos los puestos de más honor. Y siempre que su salud se lo permitió, asistió a nuestros congresos. Su imagen de sabio, con su bastón, siempre dispuesto a escucharnos, quedará en nuestro recuerdo.

João nació en Abrantes el 23 de noviembre de 1935. Ingeniero químico industrial por el Instituto Superior Técnico de Lisboa, también se licenció en Física y Química por la Universidad de Lisboa.

- Su dedicación a la protección radiológica se inició en 1972, cuando cursó con éxito el *Advanced Radiological Protection Course* que se impartía en el *Atomic Energy Research Establishment* de Harwell (Reino Unido).

- En 1985 obtuvo una plaza de investigador adjunto tras presentar un trabajo original sobre el tema "Contribución al estudio de los riesgos asociados con la liberación de productos de fisión de los elementos de combustible del reactor portugués de investigación".

- Era miembro emérito de la *Health Physics Society*. Además de su brillante trabajo profesional, João se distinguió especialmente por la fundación de la SPPCR en 1993, de la que fue presidente hasta su fallecimiento. Para el conjunto de la sociedad portuguesa deja su innegable contribución en la creación de una percepción pública de los riesgos asociados al empleo de las radiaciones. Igualmente fue un gran impulsor de las relaciones entre las sociedades europeas y latinoamericanas miembros de la IRPA.

- João, entrañable amigo, descansa en paz.



Tus amigos de la SEPR

## PUBLICACIONES

### Publicaciones ICRP

#### ICRP-120. Radiological Protection in Cardiology



La medicina nuclear cardiaca, la tomografía computarizada (TC), los procedimientos de cardiología intervencionista o los procedimientos de electrofisiología están aumentando en número y representan una parte importante de la exposición a la radiación del paciente en la medicina. Además, el personal de los laboratorios de cateterización cardíaca pueden recibir dosis altas de radiación si las herramientas de protección radiológica no se utilizan correctamente.

En anteriores publicaciones, la Comisión ya emitió recomendaciones para la buena práctica en intervenciones guiadas por fluoroscopia (nº 85), en TC (nºs 87 y 102) y para la formación en protección radiológica (no 113). El actual informe se centra específicamente en cardiología y proporciona una guía para ayudar al cardiólogo con los procedimientos de justificación y con la optimización de la protección en los estudios de TC cardíacos, estudios cardíacos de medicina nuclear y las intervenciones cardíacas guiadas por fluoroscopia. Incluye discusiones sobre los efectos biológicos de la radiación, los principios de la protección radiológica, la protección del personal, la formación, la protección radiológica y el establecimiento de un programa de garantía de calidad para imágenes cardíacas e intervención.

ICRP Publication 120. Ann. ICRP 42(1), 2013

Editor C.H. CLEMENT

ISBN: 978-1-4557-5990-3

#### ICRP-121. Radiological Protection in Paediatric Diagnostic and Interventional Radiology

- Los niños tienen un riesgo medio mayor de desarrollar cáncer frente a los adultos que reciben la misma dosis. Esta publicación tiene como objetivo proporcionar los principios de la protección radiológica dirigidos a los médicos y el personal clínico que realizan el diagnóstico por imágenes y los procedimientos de intervención en pediatría. Comienza con una breve descripción de los conceptos básicos de la protección radiológica, seguido por sus aspectos generales, incluidos los principios de justificación y optimización. Pautas, guías y sugerencias en protección radiológica en áreas concretas tales como la radiografía y la fluoroscopia, la radiología intervencionista y la tomografía son tratadas en profundidad. El informe concluye con un resumen y recomendaciones.

- ICRP Publication 121. Ann. ICRP 42(2).

- Editor-in-Chief C.H. CLEMENT; Associate Editor M. SASAKI

- ISBN: 978-0-7020-5439-6

### Publicaciones HPA

#### HPA-CRCE-042 - Radon in Scottish Homes: Report of a Targeted Programme

- Este informe detalla un programa, apoyado por fondos del Gobierno de Escocia, para la identificación de hogares con concentraciones de radón significativamente elevadas en las áreas de Escocia con mayor riesgo. También se relacionan las medidas adoptadas en dichos hogares. El programa, de tres

años de duración, se inició en abril de 2009 y se basó inicialmente en los mapas publicados de radón en aquel momento. Un mapa de radón actualizado y más detallado se publicó en julio de 2011; el programa fue modificado entonces para contemplar la nueva distribución de zonas de riesgo.

ISBN: 978-0-85951-726-3

Disponible de forma gratuita en:

[http://www.hpa.org.uk/webc/HPAwebFile/HPAweb\\_C/1317136708701](http://www.hpa.org.uk/webc/HPAwebFile/HPAweb_C/1317136708701)

## Publicaciones CSN

### INT-08.04 Guía técnica del Consejo de Seguridad Nuclear para el desarrollo y la implantación de los criterios radiológicos de la Directriz Básica de Planificación ante el Riesgo Radiológico



La presente guía, de carácter recomendatorio, tiene por objeto desarrollar y aclarar lo que con carácter de requisitos mínimos se establece en la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo Radiológico (DBRR) con relación a criterios radiológicos. En consecuencia, contiene los criterios radiológicos incluidos en la DBRR y criterios adicionales

adoptados por el CSN en base a recomendaciones emitidas por organizaciones internacionales, principalmente por la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA), más exigentes o conservadores, o en su caso más desarrollados, que los requisitos mínimos estrictamente recogidos en la directriz.

Adicionalmente, incluye información complementaria que se considera puede ser de interés para la integración de los mencionados criterios radiológicos durante la elaboración de los planes especiales de riesgo radiológico y facilitar la elaboración de dichos planes.

Disponible en: [www.csn.es/images/stories/publicaciones/unitarias/informes\\_tecnicos/gua\\_tcnica\\_del\\_csn\\_para\\_la\\_dbrr.pdf](http://www.csn.es/images/stories/publicaciones/unitarias/informes_tecnicos/gua_tcnica_del_csn_para_la_dbrr.pdf)

## Radón y cáncer de pulmón



El radón es, después del tabaco, el segundo factor de riesgo de cáncer de pulmón. Radón y cáncer de pulmón, libro promovido por el Laboratorio de Radón de Galicia con el patrocinio del Consejo de Seguridad Nuclear, expone y evalúa los conocimientos de que disponemos sobre el problema de la exposición al radón y su papel en la aparición de cáncer pulmonar

en los diferentes ambientes. Especialistas españoles con amplia experiencia tratan las características y dinámica del gas, su relación con la salud, las posibilidades de reducirlo, y las normativas y políticas ideadas para ello. La concienciación de ciudadanos y administraciones de otros países debe cundir ejemplo en el nuestro. Este libro se consagra a abrir paso firme en el camino.

ISBN: 978-84-9887-948-3

Edición a cargo de Juan Miguel Barrios Dios y Mónica Pérez Ríos. UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA, 2012.

# CONVOCATORIAS 2013

“más información en [www.sepr.es](http://www.sepr.es)”

## FEBRERO

### • EURADOS Annual Meeting 2013 - AM2013

Del 4 al 8 de febrero de 2013 en Barcelona.

Más información: [www.eurados.org/en/Events/Annual\\_meetings](http://www.eurados.org/en/Events/Annual_meetings)

### • 2<sup>nd</sup> International Conference on Po and Radioactive Pb Isotopes

Del 10 al 13 de febrero de 2013 en Mangalagangothri (India).

Más información: <http://inco.mangaloreuniversity.ac.in>

## MARZO

### • 5<sup>th</sup> International Conference on Education and Training in Radiological Protection

Del 12 al 15 de marzo de 2013 en Viena (Austria).

Más información: [www.euronuclear.org/events/etrap/etrap2013/index.htm](http://www.euronuclear.org/events/etrap/etrap2013/index.htm)

### • EPRBioDose 2013

Del 24 al 28 de marzo de 2013 en Leiden (Holanda).

Más información: [www.medgencentre.nl/Biodose/default.htm](http://www.medgencentre.nl/Biodose/default.htm)

## ABRIL

### • BVS-ABR 2013 International Symposium: Challenges for Radiological Protection for the next 50 Years

Del 8 al 10 de abril de 2013 en Bruselas (Bélgica).

Más información: [www.bvsabr.be/50Y/](http://www.bvsabr.be/50Y/)

### • IX Congreso Latino Americano IRPA

Del 15 al 19 de abril de 2013 en Río de Janeiro (Brasil).

Más información: [http://2010.interevent.com.br/sistema/\\_hotsite/index.php?cod\\_eventos=26&cod\\_contenidos=234](http://2010.interevent.com.br/sistema/_hotsite/index.php?cod_eventos=26&cod_contenidos=234)

## MAYO

### • Workshop on Off-site Gamma Dose Rate and Ground Contamination Measurements

Del 13 al 15 de mayo de 2013 en Freiburg (Alemania).

Más información: [www.fmf.uni-freiburg.de/service/servicegruppen/sg\\_matchar/workshop/index](http://www.fmf.uni-freiburg.de/service/servicegruppen/sg_matchar/workshop/index)

## JUNIO

### • BioEM2013

Del 10 al 14 de junio de 2013 en Thessaloniki (Grecia)

Más información: [www.bioem2013.or/bioem2013/](http://www.bioem2013.or/bioem2013/)

## FEBRERO

### Curso sobre los efectos inducidos por la radiación, haciendo especial hincapié en la genética, el desarrollo, teratología y la cognición.

Organizado por: el Centro Belga de Investigación Nuclear (SCK-CEN) en el contexto de la red de excelencia DoReMi FP7 EU

Fechas y lugar: del 18 de febrero al 1 de marzo de 2013 en el Meeting room BIO, perteneciente al SCK•CEN. Boeretang 200. 2400 Mol. Bélgica.

Objetivo: proporcionar un resumen completo de los efectos biológicos que producen las radiaciones ionizantes a dosis bajas e intermedias, con especial énfasis en los efectos hereditarios o en las diversas etapas del desarrollo embrionario. Además, en el curso se expondrá la investigación reciente y actual realizada en el SCK-CEN en el campo de la oncología, incluyendo un estudio epidemiológico a gran escala, realizado en colaboración con la IARC y la OMS, sobre la incidencia y mortalidad por cáncer entre los trabajadores pertenecientes al ámbito nuclear. Así mismo se realizará una introducción de las nuevas tecnologías aplicadas en el tratamiento del cáncer.

Dirigido a: el curso está abierto a personal posgraduado o investigadores que trabajen en instituciones académicas de la UE.

Más información: [http://www.sckcen.be/en/Events/TC\\_doremi\\_rad\\_induced](http://www.sckcen.be/en/Events/TC_doremi_rad_induced)

## MARZO

### 2<sup>nd</sup> Annual Radiological Risk Assessment.

Organizado por: Risk Assessment Corporation

Fechas y lugar: del 4 al 8 de marzo de 2013. Crystal City Marriott at Reagan National Airport, 1999 Jefferson Davis Highway, Arlington, VA 22202-3526.

Objetivo: ofrecer los métodos utilizados para la evaluación del riesgo radiológico ambiental. Los profesores comunicarán su amplia experiencia en este tipo de evaluaciones de riesgo, en el análisis de accidentes y toma de decisiones; así como en los métodos más eficaces para la comunicación de riesgos.

Más información: [www.racteam.com/courses/about/](http://www.racteam.com/courses/about/)

## ABRIL

### Dosimetría interna

Organizado por: la Unidad de Formación en protección Radiológica y Tecnología nuclear del Ciemat en colaboración con el CSN y Unesa.

Fechas y lugar: del 8 al 12 de abril de 2013. Ciemat, Unidad de Formación en Protección Radiológica y Tecnología Nuclear. Avda. Complutense, 40. 28040 Madrid.

Objetivo: familiarizar a los profesionales que trabajen en protección radiológica, con los métodos de cálculo de dosis por exposición interna, con objeto de facilitar el diseño de programas de vigilancia de trabajadores expuestos y garantizar la fiabilidad de resultados en las evaluaciones dosimétricas.

Dirigido a: las personas responsables de realizar controles de dosimetría interna.

Contenido: Conceptos básicos. Técnicas de Métodos de análisis "in vivo" e "in vitro". Vigilancia de la exposición interna. Modelos metabólicos utilizados en dosimetría interna. Metodología general para la estimación de Actividad Incorporada y Dosis. Aplicación de las Guías IDEAS y Normas ISO en dosimetría interna. Códigos de cálculo de dosis por exposición interna. Casos prácticos de evaluación dosimétrica.

Más información: [www.ciemat.es/cargarFichaCursoWeb.do](http://www.ciemat.es/cargarFichaCursoWeb.do)

## JUNIO

### Curso de capacitación para supervisores de instalaciones radiactivas. Campos de aplicación: Medicina Nuclear, Control de procesos y técnicas analíticas, y Laboratorio con fuentes no encapsuladas

Organizado por: el Institut de Tècniques Energètiques (INTE) y el Hospital Clínico y Provincial de Barcelona. Participan la Sección de Ingeniería Nuclear del Departamento de Física e Ingeniería Nuclear de la UPC, el Hospital de Santa Creu y Sant Pau de Barcelona y el Instituto de Investigaciones Biomédicas de Barcelona (IIBB-CSIC).

Fecha: del 25 de junio al 5 de julio de 2013.

Dirigido a: de acuerdo con la normativa vigente, para realizar el curso de supervisores es necesario disponer de titulación universitaria.

Más información: <http://inte.upc.edu/docencia-es/curso-supervisores>

# Índice de RADIOPROTECCIÓN 2012

## Artículos

AUTORES	TÍTULO ARTÍCULO	EDICIÓN
A. J. GONZÁLEZ	Las recomendaciones de la ICRP frente a las secuelas del accidente de Fukushima: algunas lecciones preliminares.	Nº 70 Vol. XIX 2012
M.C. PUJADES, J. PÉREZ-CALATAYUD y F. BALLESTER	Propuesta de metodología para estimar la dosis absorbida en la entrada del laberinto en instalaciones de braquiterapia HDR con Ir-192	Nº 70 VOL. XIX 2012
M.A. HERNÁNDEZ-CEBALLOS, R.L. LOZANO, J.A. ADAME, M. SORRIBAS, M. CASAS RUIZ, E.G. SAN MIGUEL y J.P. BOLÍVAR	Rutas de transporte de la pluma radiactiva de Fukushima hasta la Península Ibérica.	Nº 70 Vol. XIX 2012
M. ALCARAZ, M. ANDREU-GÁLVEZ, J.M. SÁNCHEZ VILLALOBOS, D.G. ACHEL, E.OLMOS y C.M. MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ	Genotoxicidad y campos magnéticos-ELF: una revisión a través del ensayo de micronúcleos.	Nº 71 Vol XIX 2012
E. CARDIS Y C. EASTMAN	Objetivos y estado actual del estudio Mobi-Kids	Nº 71 Vol XIX 2012
V. GUARDIA, S. FERRER, O. ALONSO y M. ALMONACID	Protección radiológica en exposición ocupacional a microondas en unidades de electroterapia.	Nº 71 Vol XIX 2012
E. GUIBELALDE	Protección ante exposición ocupacional a radiaciones no ionizantes: presente y futuro	Nº 71 Vol XIX 2012
M.A. DE LA CASA, R. GILARRANZ, P. ADAIMI, L.C MARTÍNEZ, M.A. RUIZ, M.J. ROT, F. CLEMENTE, A. MILANÉS, J.M. DELGADO y M.J. MANZANAS	Vigilancia radiológica ambiental en Instalaciones de PET-CT	Nº 72 Vol. XIX 2012
M. PÉREZ DÍAZ, T. BORGES GARCÍA, J. LEÓN SANTANA, I. VANDERLEY BRASILEIRO, H. KHOURY e I. MIRANDA CASTAÑEDA	Análisis de calidad de imagen vs dosis aplicada al paciente en radiografía panorámica digital	Nº 72 Vol. XIX 2012
J. A. GONZÁLEZ GONZÁLEZ, L. PUJOL, M.J. SUÁREZ NAVARRO Y M. GARCÍA GALLUDO	Procesos recomendados para el control de la presencia de material radiactivo en materiales metálicos	Nº 72 Vol. XIX 2012
S. CALVO, A. DE LA ENCINA, J. GASPAR, M.T. MACÍAS, A. SÁNCHEZ y F. USERA	Control de la contaminación radiactiva superficial en el ámbito de la investigación biológica	Nº 72 Vol. XIX 2012
A. REAL, T. DE LA CRUZ, L. GIRONA, L. MONTESINOS y P. SÁNCHEZ	El proyecto de Foro de la Industria Nuclear Española para elaborar un material didáctico interactivo sobre Protección Radiológica	Nº 73 Vol. XIX 2012
J.C. MORA y B. ROBLES	Incertidumbres en las evaluaciones dosimétricas de la gestión de NORM en repositorios de residuos convencionales	Nº 73 Vol. XIX 2012
E. CORDÓN, A. VIGIL y A. COLL	Protección Radiológica Operacional en centros veterinarios	Nº 73 Vol. XIX 2012
A. MONTORO, N. SEBASTIÀ, C. CANDELA, J.F. BARQUINEIRO, J.M. SORIANO, M. ALMONACID, V. A. SILLA, C. ARNAL y J.I. VILLAESCUSA	Frecuencia de dicéntricos en niños y adolescentes ucranianos de zonas cercanas a Chernobyl 20 años después del accidente de la central nuclear.	Nº 73 Vol. XIX 2012

## Notas Técnicas

AUTOR	TÍTULO	EDICION
DAVID CANO	Chernobyl 25 años después, efectos sobre la salud y perspectivas	Nº 70 Vol. XIX 2012
Mª Á. TRILLO Y A. ÚBEDA	Teléfonos móviles y Tasa de Absorción Específica.	Nº 73 Vol. XIX 2012

## Entrevistas

ENTREVISTADO	CARGO	EDICIÓN
IGNACIO AMOR	Jefe de Área de Servicios de Protección Radiológica del CSN	Nº 70 Vol. XIX 2012
ELISABETH CARDIS	Jefa del programa de radiaciones del Centro de Investigación en Epidemiología Ambiental (CREAI)	Nº 71 Vol XIX 2012
JUAN JOSÉ PEÑA BERNAL	Presidente del Comité Organizador del Congreso Conjunto SEFM-SEPR Cáceres 2013	Nº 73 Vol. XIX 2012

## INFORMACIÓN PARA LOS AUTORES

### 1. PROPÓSITO Y ALCANCE:

La revista *RADIOPROTECCIÓN* es el órgano de expresión de la Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR).

Los trabajos que opten para ser publicados en *RADIOPROTECCIÓN* deberán tener relación con la Protección Radiológica y con todos aquellos temas que puedan ser de interés para los miembros de la SEPR. Los trabajos deberán ser originales y no haber sido publicados en otros medios, a excepción de colaboraciones de especial interés, según criterio del Comité de Redacción. Los trabajos aceptados son propiedad de la Revista y su reproducción, total o parcial, sólo podrá realizarse previa autorización escrita del Comité de Redacción de la misma.

Los conceptos expuestos en los trabajos publicados en *RADIOPROTECCIÓN* representan exclusivamente la opinión personal de sus autores.

Todas las contribuciones se enviarán por correo electrónico a la dirección: [redaccionpr@gruposenda.net](mailto:redaccionpr@gruposenda.net)

o por correo postal a:

SEDA Editorial. Revista *RADIOPROTECCIÓN*.  
Calle Isla de Saipán, 47. 28035 MADRID

En el caso de que se utilice el correo postal, se enviarán tres copias en papel y disquete con el trabajo.

### 2. RADIOPROTECCIÓN EN INTERNET

La revista *RADIOPROTECCIÓN* también se publica en formato electrónico y puede consultarse en la página de la Sociedad Española de Protección Radiológica (<http://www.sepr.es>).

### 3. NORMAS DE PUBLICACIÓN DE LA REVISTA RADIOPROTECCIÓN

#### 3.1. Tipo de contribuciones que pueden enviarse a la revista.

Las contribuciones que pueden enviarse a *RADIOPROTECCIÓN* son:

- Artículos de investigación
- Revisiones técnicas
- Noticias
- Publicaciones
- Reseñas de libros
- Convocatorias
- Cartas al director
- Proyectos de I+D

#### 3.2. Normas para la presentación de artículos y revisiones técnicas.

En todos los trabajos se utilizará un tratamiento de texto estándar (word, wordperfect). El texto debe escribirse a espacio sencillo en tamaño 12. La extensión máxima del trabajo será de 12 páginas DIN-A4 para los artículos y de 6 páginas para las revisiones técnicas, incluyendo los gráficos, dibujos y fotografías.

Los trabajos (artículos y revisiones técnicas) deberán contener:

3.2.1. *Carta de presentación.* Con cada trabajo ha de enviarse una carta de presentación que incluya el nombre, institución, dirección, teléfono, fax y correo electrónico del autor al que hay que enviar la correspondencia. Los autores deben especificar el tipo de contribución enviada (ver apartado 3.1).

3.2.2. *Página del título.* Esta página debe contener, y por este orden, título del artículo, primer apellido e inicial(es) de los autores, nombre y dirección del centro de trabajo, nombre de la persona de contacto, teléfono, fax, dirección de correo electrónico y otras especificaciones que se consideren oportunas. Cada autor debe relacionarse con la correspondiente institución usando llamadas mediante números.

El título, que irá en el encabezamiento del trabajo, no tendrá más de 50 caracteres, (incluyendo letras, espacios y un máximo de 6 palabras clave que reflejen los principales aspectos del trabajo).

3.2.3. *Resumen.* Se escribirá un resumen del trabajo en castellano y en inglés que expresará una idea general del artículo. La extensión máxima será de **200 palabras en cada idioma**, que se debe respetar por razones de diseño y de homogeneización del formato de la revista.

- Es importante que el resumen sea preciso y sucinto, presentando el tema, las informaciones originales, exponiendo las conclusiones, e indicando los resultados más destacables.

3.2.4. *Texto principal.* No hay reglas estrictas sobre los apartados que deben incluirse, pero hay que intentar organizar el texto de tal forma que incluya una introducción, materiales y métodos, resultados, discusión, conclusiones, referencias bibliográficas, tablas y figuras y agradecimientos.

Se deberían evitar repeticiones entre los distintos apartados y de los datos de las tablas en el texto.

Las abreviaturas pueden utilizarse siempre que sea necesario, pero siempre deben definirse la primera vez que sean utilizadas.

3.2.5. *Unidades y ecuaciones matemáticas.* Los autores deben utilizar el Sistema Internacional de Unidades (SI). Las unidades de radiación deben darse en el SI, por ejemplo 1 Sv, 1 Gy, 1 MBq. Las ecuaciones deben numerarse (1), (2) etc. en el lado derecho de la ecuación.

3.2.6. *Anexos.* Se solicita a los autores que no incluyan anexos, si el material puede formar parte del texto principal. Si fuera imprescindible incluir anexos, por ejemplo incluyendo cálculos

matemáticos que podrían interrumpir el texto, deberá hacerse después del apartado referencias bibliográficas. Si se incluye más de un anexo, éstos deben identificarse con letras. Un anexo puede contener referencias bibliográficas, pero éstas deben numerarse y listarse separadamente (A1, A2, etc.). Debe hacerse mención a los anexos en el texto principal.

3.2.7. *Tablas.* Las tablas deben citarse en el texto pero deben proporcionarse en hojas separadas. Deben ir numeradas con números romanos (I, II, III etc.) y cada una de ellas debe tener un título corto y descriptivo. Se debe intentar conseguir la máxima claridad cuando se pongan los datos en una tabla y asegurarse de que todas las columnas y filas están alineadas correctamente.

Si fuera necesario se puede incluir un pie de tabla. Éste debe mencionarse en la tabla como una letra en superíndice, la cual también se pondrá al inicio del pie de tabla correspondiente. Las abreviaturas en las tablas deben definirse en el pie de tabla, incluso si ya han sido definidas en el texto.

3.2.8. *Figuras.* Las figuras deben citarse en el texto numeradas con números arábigos, proporcionándose en hojas separadas. Las figuras aparecerán en blanco y negro en la revista, excepto casos muy excepcionales, lo que debe ser tenido en cuenta por los autores a la hora de elegir los símbolos y tramas empleados en ellas. Las **fotografías** deberán entregarse en **original** (papel o diapositiva) o como **imágenes digitalizadas en formato de imagen** (jpg, gif, tif, power point, etc.) con una **resolución superior a 300 ppp**. Aunque las imágenes (fotos, gráficos y dibujos) aparezcan inscritas en un documento de word es necesario enviarlas también por separado como archivo de imagen para que la resolución sea la adecuada.

Cada imagen (foto, tabla, dibujo) debe ir acompañada de su **pie de foto** correspondiente.

3.2.9. *Referencias Bibliográficas.* Debe asignarse un número a cada referencia siguiendo el orden en el que aparecen en el texto, es decir, las referencias deben citarse en orden numérico. Las referencias citadas en una tabla o figura cuentan como que han sido citadas cuando la tabla o figura se menciona por primera vez en el texto.

Dentro del texto, las referencias se citan por número entre corchetes. Dentro del corchete, los números se separan con comas, y tres o más referencias consecutivas se dan en intervalo. Ejemplo [1, 2, 7, 10-12, 14]. Las menciones a comunicaciones privadas deben únicamente incluirse en el texto (no numerándose), proporcionando el autor y el año. La lista de referencias al final del trabajo debe realizarse en orden numérico.