

La protección radiológica del medioambiente: evolución y perspectivas

A. Real y B. Robles

La protección radiológica del medioambiente ha despertado un interés creciente en los últimos 25 años, aceptándose actualmente a nivel internacional la necesidad de disponer de un sistema que permita demostrar explícitamente que el medioambiente está adecuadamente protegido frente a los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes. Para ello, numerosas organizaciones internacionales, europeas y nacionales llevan años trabajando muy activamente en este tema.

El presente trabajo describe como ha evolucionado la protección radiológica del medioambiente en las últimas décadas, resaltando el conocimiento adquirido y las metodologías y herramientas desarrolladas para su implementación, así como las perspectivas futuras.

The radiation protection of the environment has led to growing interest in the last 25 years. Currently it is internationally accepted the need for a system which allows to explicitly demonstrate that the environment is adequately protected against the harmful effects of ionising radiation. To contribute to the development of this system, many international, European and national organizations have been actively working in the last decades.

This paper describes how the radiological protection of the environment has evolved in the last decades, highlighting the knowledge acquired and the methodologies and tools developed, as well as the future perspectives in the field.



ALMUDENA REAL GALLEGO

es doctora en Ciencias Biológicas. Trabaja en el Ciemat desde 1986, en radiobiología y protección radiológica del público y del medioambiente. Desde 2005 es miembro del Comité 5 de la ICRP.



BEATRIZ ROBLES ATIENZA

es licenciada en Ciencias Biológicas trabaja en el Ciemat desde 1987 en protección radiológica del público y del medioambiente, siendo en la actualidad responsable de dicho grupo. Desde el año 2012 es asesora de la representación española en Unsear.

INTRODUCCIÓN

La postura de la sociedad frente al medioambiente ha ido cambiando con los años, existiendo en la actualidad una mayor preocupación pública sobre su conservación, al saberse que éste juega un papel clave en el bienestar futuro del hombre. Se acepta por tanto la necesidad de proteger al medioambiente frente a diversos factores de estrés y contaminantes, incluida la radiación ionizante.

En lo relativo a la protección del medioambiente frente a las radiaciones ionizantes, durante muchos años se aceptó que si el hombre estaba adecuadamente protegido frente a este agente, también lo estarían otras especies. Esta era también la postura en los años 90 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (más conocida por sus siglas ICRP, del inglés *International Commission on Radiological Protection*), como se describirá más adelante en este trabajo.

La creciente demanda social, así como la cada vez más extensa legislación existente sobre la conservación de especies, el mantenimiento de la biodiversidad y el estado de los hábitats o ecosistemas naturales, ha llevado a que se acepte internacionalmente de manera generalizada la necesidad de disponer de un sistema que permita demostrar de forma explícita que el medioambiente está adecuadamente protegido frente a los posibles efectos perjudiciales de las radiaciones ionizantes.

En los últimos 25 años, el interés por la protección radiológica del medioambiente ha ido en aumento, lo que ha llevado asociada una intensa actividad investigadora en el tema. Así, numerosas instituciones de diversos países han trabajado en el desarrollo e implantación de metodologías y herramientas que permitan estimar la exposición de especies no-humanas a radiación ionizante y los riesgos derivados de dicha exposición, así como evaluar el impacto que podrían tener los contaminantes radiactivos en la flora y la fauna.

Ha habido dos hitos importantes a nivel internacional en la protección radiológica del medioambiente. El primero fue la Conferencia Internacional sobre la protección del medioambiente frente a los efectos de las radiaciones ionizantes celebrada en octubre de 2003, en Estocolmo. La conferencia fue organizada por el Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA), en colaboración con el Comité Científico de la Naciones Unidas sobre los efectos de la radiación atómica (UNSCEAR), la Comisión Europea y la Unión Internacional de Radioecología (IUR), siendo el anfitrión el Gobierno sueco a través de la Autoridad de Protección Radiológica (SSI). El objetivo principal de la conferencia era promover el desarrollo de una política internacional coherente sobre la protección del medioambiente frente a los efectos atribuibles a la exposición a radiaciones ionizantes. Durante la Conferencia se revisaron los desarrollos alcanzados hasta ese momento y se consideraron sus implicaciones para el trabajo futuro en el desarrollo de guías en el ámbito nacional e internacional, marcando una hoja de ruta para consolidar la consideración explícita de la protección radiológica de especies diferentes a la humana.

El segundo hito tuvo lugar en 2007, cuando la ICRP amplió sus objetivos, incluyendo de forma explícita la protección del medioambiente, tal y como se recoge en las Recomendaciones publicadas por la Comisión a finales de ese año. Así pues, actualmente uno de los objetivos generales de la Comisión es prevenir o reducir la frecuencia de aparición de efectos nocivos en el medioambiente a un nivel en el que haya un impacto despreciable en el mantenimiento de la diversidad biológica, la conservación de las especies o la salud y el estado de los hábitat, comunidades y ecosistemas naturales [1].

En Europa también tuvo lugar desde finales del siglo XX una intensa actividad investigadora sobre aspectos relacionados con la protección radiológica del medioambiente, lo que permitió obtener resultados de gran relevancia e impacto internacional, como por ejemplo la herramienta integrada ERICA para la evaluación de los riesgos en la biota o la base de datos sobre los efectos de la radiación en animales y plantas FREDERICA [2].

EVOLUCIÓN EN EUROPA DE LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA DEL MEDIOAMBIENTE

Muchas de las actividades llevadas a cabo en Europa en las últimas décadas han contado con el apoyo de la

Unión Europea, la cual desde el año 2000 ha financiado proyectos de investigación en esta área. Así, en el 5º y 6º Programa Marco, se financiaron los proyectos EPIC (*Environmental from Ionising Contaminants in the Arctic*), FASSET (*Framework for Assessment of Environmental Impact*), y ERICA (*Environmental Risk from Ionising Contaminants: Assessment and Management*). Posteriormente se llevó a cabo el proyecto PROTECT (*Protection of the Environment from Ionising Radiation in a Regulatory Context*) (Figura 1).

El objetivo general del proyecto FASSET fue crear un sistema coherente para evaluar los efectos de las radiaciones sobre el medioambiente y los ecosistemas, que permitiera vincular los escenarios de liberación y las vías de exposición con las dosis y los efectos biológicos, en los diversos niveles de organización biológica (individuos, poblaciones y ecosistemas). Para desarrollar este objetivo el proyecto se estructuró en cuatro grupos de trabajo: Modelos dosimétricos para organismos de referencia, vías de exposición, efectos de la exposición crónica a tasas de dosis bajas en la biota y aproximación para la evaluación del impacto radiológico en el medioambiente. Se estudiaron siete ecosistemas típicos europeos, cuatro terrestres y tres acuáticos (bosque, seminatural, agrícola, humedales, marino, salobre y aguas continentales), se definió una lista genérica de organismos de referencia representativos de estos ecosistemas para los cuales se desarrollaron los modelos dosimétricos para la estimación de las tasas de dosis absorbidas para más de 20 radionucleidos. Se creó la base de datos FRED (FASSET Radiation Effects Database), sobre efectos

biológicos de las radiaciones ionizantes en animales y plantas.

El proyecto EPIC (*Environmental from Ionising Contaminants in the Arctic*), tenía el objetivo de desarrollar una aproximación para la protección frente a las radiaciones en el Ártico. Se desarrollaron modelos relacionados con la transferencia ambiental de radionucleidos y la dosimetría, y se recopiló información sobre los efectos biológicos en la biota del Ártico, creándose la base de datos EPIC. El resultado final del proyecto fue una metodología completa que permite evaluar el impacto de los radionucleidos liberados en el Ártico.

Durante los años 2004 a 2007 se desarrolló, dentro del 6º Programa Marco de la UE, el proyecto ERICA (*Environmental Risk from Ionising Contaminants: Assessment and Management*). El objetivo principal del proyecto era proporcionar y aplicar una aproximación integrada para abordar los aspectos científico, ejecutivo y social relacionados con los efectos de las radiaciones ionizantes en el medioambiente, con énfasis en la biota y los ecosistemas. El resultado final de este proyecto fue el desarrollo de la "aproximación integrada ERICA" para la evaluación, caracterización y gestión del riesgo derivado de la exposición a las radiaciones ionizantes, a escala europea.

El proyecto se estructuró en cuatro grupos de trabajo de investigación y uno de gestión. El primer grupo fue el encargado de desarrollar la herramienta de evaluación integrada ERICA-TOOL, centrando su trabajo en cuatro aspectos: transferencia de radionucleidos en el medio, dosimetría, relaciones dosis-efecto y el propio desarrollo de la herramienta.

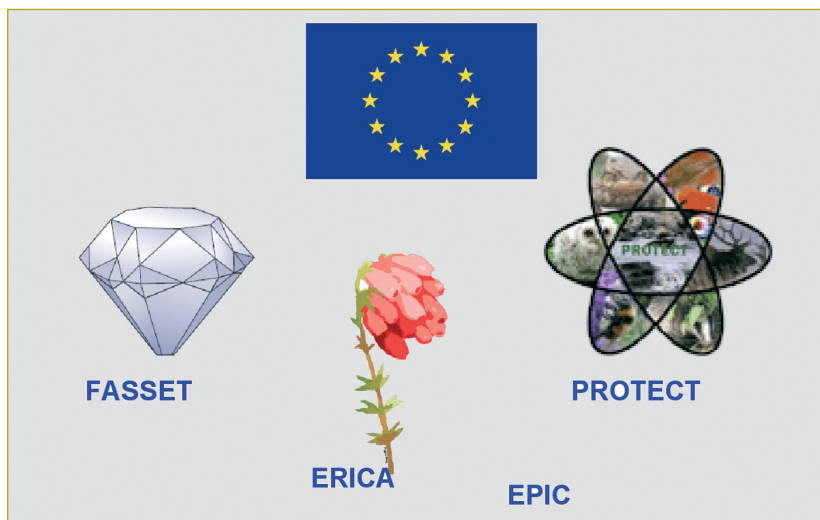


Figura 1. Proyectos de I+D sobre protección radiológica del medioambiente, financiados por el Programa Marco de la Unión Europea.

Este grupo también se encargó de crear la base de datos FREDERICA. Para ello, se fusionaron las bases de datos sobre efectos biológicos de la radiación en animales y plantas desarrolladas durante los proyectos FASSET y EPIC, añadiéndose nuevos datos que hubieran sido publicados desde 2001. Además de aumentar la información que contenía la base de datos, se hicieron los cambios necesarios para que ésta pudiera estar disponible online y que se pudieran realizar búsquedas de información en la propia base de datos. FREDERICA es la mayor base de datos existente en la actualidad sobre efectos biológicos de las radiaciones ionizantes en flora y fauna, siendo de libre acceso (www.frederica-online.org/mainpage.asp).

El objetivo principal del segundo grupo de trabajo fue proporcionar metodologías para la evaluación de riesgos ecológicos derivados de la exposición a radiación. En este grupo también se realizaron estudios experimentales que permitieran validar la metodología ERICA, la cual es una metodología estratificada y supone un aumento de complejidad en cada paso sucesivo de la evaluación.

El tercer grupo sobre comunicación y toma de decisiones, tenía como objetivo desarrollar una guía para la gestión de la protección del medioambiente frente a las radiaciones ionizantes conjuntamente con los grupos interesados (*stakeholder*). Para ello, al comienzo del proyecto se constituyó el grupo de "End-Users" entre un amplio rango de expertos (científicos, éticos, legales y sociales), profesionales (de la industria, reguladores y legisladores) y Organizaciones No Gubernamentales. En total participaron 53 organizaciones nacionales e internacionales.

El cuarto grupo de trabajo fue el encargado de aplicar y probar en casos estudio la metodología de evaluación ERICA, proporcionando información sobre aquellos aspectos para los que no existía información y sobre los problemas que necesitaban ser solventados en ERICA. Los escenarios considerados para los casos estudios fueron: Sellafield (Reino Unido), el Río Loira (Francia), una zona de exclusión de Chernobyl (Ucrania), plataformas petrolíferas en el Mar del Norte y una zona de alta radiactividad natural en la República de Komi (Rusia).

La Acción Coordinada Europea PROTECT (*Protection of the Environment from Ionising Radiation in a Regulatory Context*) tenía el objetivo principal de evaluar las diferentes aproximaciones existentes en el mundo para proteger el medioambiente frente a las radiaciones ionizantes. El

proyecto también tenía el propósito de comparar estas aproximaciones con las utilizadas en la protección del medioambiente frente a contaminantes no radiactivos, en particular contaminantes químicos.

Un resultado destacado de PROTECT es que se proporcionó un valor de tasas de dosis de cribado de $10 \mu\text{Gy h}^{-1}$ para la protección radiológica del medioambiente. Este valor corresponde a un nivel de exposición que puede considerarse seguro, es decir, que si las tasas de dosis que se reciben están por debajo de este valor, se considera que no existe un riesgo radiológico para la biota. Dicho valor era del mismo orden que los sugeridos por diversas organizaciones internacionales [3, 4].

Toda la información sobre los proyectos europeos FASSET, EPIC, ERICA y PROTECT está disponible en www.ceh.ac.uk/PROTECT y <http://cordis.europa.eu/projects/>.

LA POSTURA DE LA ICRP FRENTE A LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA DEL MEDIOAMBIENTE

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) trató por primera vez la protección del medioambiente en sus recomendaciones de 1977, donde establecían que si el hombre estaba adecuadamente protegido, también lo estarían otras especies no humanas. No descartaban que ocasionalmente, algunos miembros individuales de ciertas especies de animales o plantas pudieran ser dañados, pero no a un nivel que afectara a dicha especie o que creara un desequilibrio entre especies [5]. La Comisión mantuvo esta postura en sus Recomendaciones de 1991 y seguía considerando el medioambiente únicamente como vehículo de transferencia de radionucleidos al hombre [6].

Desde la publicación de las Recomendaciones de 1991, se produjo un avance considerable en la protección del medioambiente, tanto en el desarrollo de su filosofía como en la elaboración de herramientas y criterios para llevarla a cabo de manera práctica. Algunas de las aproximaciones desarrolladas por instituciones de diversos países estaban siendo utilizadas dentro de los sistemas reguladores nacionales de algún Estado Miembro de la Unión Europea. Sin embargo, a principios del siglo XXI aún no existían unas directrices internacionales que permitieran una armonización de las aproximaciones empleadas por los diferentes países.

Este hecho, junto con la necesidad de desarrollar un sistema que permitiera demostrar explícitamente la

protección de la biota frente a las radiaciones ionizantes, llevó a la ICRP a crear un primer grupo de trabajo en el año 2000, que realizó la publicación ICRP-91. En dicha publicación se concluía que era necesaria una base científica internacional amplia para la evaluación y la gestión del impacto de la radiación en el medioambiente, así como desarrollar una aproximación que permitiera estudiar los efectos sobre la biota y su protección [7].

A finales de 2003, la ICRP debido al creciente interés en el tema decide crear un nuevo comité, el cual se constituyó oficialmente en junio de 2005. El Comité 5 se creó con la misión de desarrollar un sistema de protección radiológica del medioambiente, que apoye y proporcione transparencia en la toma de decisiones. Dicho sistema ha de estar en armonía con el actual sistema de protección radiológica de las personas y debe ser compatible con otras aproximaciones utilizadas para la protección del medioambiente frente a contaminantes no radiactivos, principalmente productos químicos.

En la publicación ICRP-108 [8], elaborada por el Comité 5, se describe la aproximación de la Comisión frente a la protección radiológica del medioambiente, introduciéndose el concepto de animales y plantas de referencia (RAP del inglés, *Reference Animals and Plants*). En dicha publicación se desarrolla un pequeño conjunto de RAP así como sus bases de datos pertinentes -de una manera similar a la del hombre de referencia- que sirva de base para interpretar las relaciones existentes entre la exposición y la dosis, y entre la dosis y ciertos tipos de efectos, para unos tipos bien definidos de animales y plantas (Figura 2). El grupo de 12 RAP seleccionado lo integran:

- Un mamífero terrestre de gran tamaño: el ciervo de referencia.
- Un mamífero terrestre de pequeño tamaño: la rata de referencia.
- Un pájaro acuático: el pato de referencia.
- Un anfibio: la rana de referencia.
- Un pez de agua dulce: la trucha de referencia.
- Un pez marino: el pez plano de referencia.
- Un insecto terrestre: la abeja de referencia.
- Un crustáceo marino: el cangrejo de referencia.
- Un anélido terrestre: la lombriz de tierra de referencia.
- Una planta terrestre de gran tamaño: el pino de referencia.
- Una planta terrestre de pequeño tamaño: la hierba de referencia.
- Un alga: el alga marina marrón de

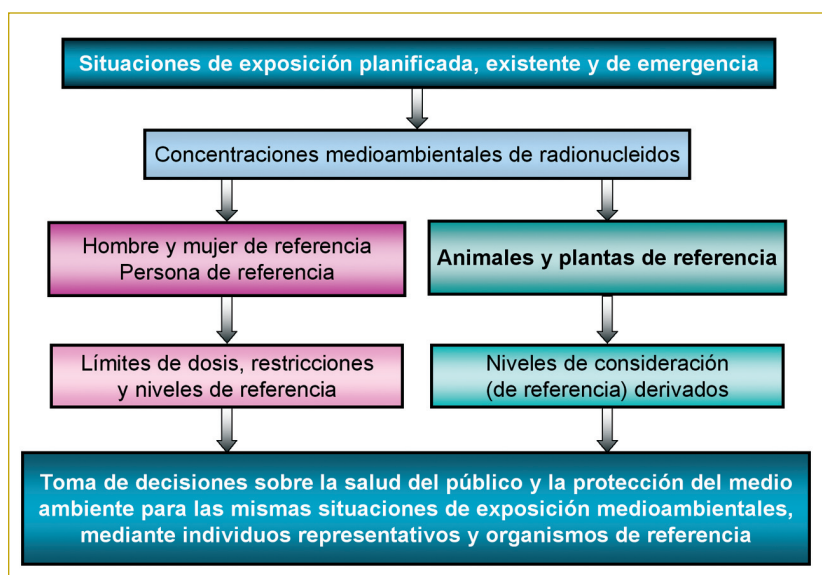


Figura 2. Esquema sobre el sistema de protección radiológica desarrollado por la ICRP.

referencia.

En base a la información disponible sobre los efectos de la radiación en los RAP (u organismos similares) y su correlación con la dosis, se establecen unos niveles de consideración de referencia derivados (DCRL, del inglés *Derived Consideration Reference Levels*) para cada tipo biótico, con objeto de ayudar a optimizar el nivel de esfuerzo que hay que invertir en su protección y así servir como puntos de referencia en las evaluaciones que lleven a cabo las autoridades en diferentes situaciones de exposición [8].

El sistema recomendado por la ICRP, no tiene la intención de establecer normas reguladoras. Más bien, se recomienda un marco que puede ser una herramienta práctica para proporcionar asesoramiento y orientación de alto nivel, y ayudar a los reguladores y operadores para demostrar el cumplimiento de la legislación vigente. El sistema proporciona una base para que, si fuera necesario, se puedan desarrollar a nivel nacional enfoques numéricos específicos para la evaluación y gestión de riesgos para la biota.

PERSPECTIVAS DE FUTURO DE LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA DEL MEDIOAMBIENTE

A nivel europeo hay que destacar que en septiembre de 2012 se creó la Alianza Europea de Radioecología, en la que actualmente participan ocho instituciones de reconocido prestigio en el ámbito de la radioecología, entre ellas el Ciemat como representante español. El objetivo de la Alianza es mantener y aumentar las competencias e instalaciones experimentales en

radioecología existentes en Europa, así como abordar retos científicos y educacionales relacionados con la evaluación del impacto de sustancias radioactivas en humanos y en el medioambiente. Si bien la Alianza es una iniciativa europea, está abierta a todos los grupos que desarrollan una labor investigadora en el área de la radioecología, de cualquier lugar del mundo. Las normas para solicitar la participación en la Alianza se encuentran disponibles en su página electrónica www.er-alliance.org.

A nivel internacional, la ICRP sigue trabajando en el desarrollo de un sistema de protección radiológica del medioambiente, que esté en concordancia con el actual sistema de protección radiológica de las personas y con otros sistemas para la protección del medioambiente frente a otros contaminantes. Entre las acciones iniciadas por el Comité 5 están la elaboración de una publicación en la que se dan consejos prácticos sobre cómo aplicar los valores de referencia de consideración derivados para los animales y plantas de referencia, en las tres situaciones de exposición contempladas por la Comisión: planificada, existente y de emergencia.

Entre las cuestiones relacionadas con la protección radiológica del medioambiente que deberán clarificarse en el futuro cabe destacar:

- Definir los factores de ponderación de la radiación que habría que aplicar en especies no humanas, para dar cuenta de la distinta eficacia biológica que muestran diferentes tipos de radiación para producir efectos biológicos, principalmente para radionucleidos emisores al-

fa y emisores beta de baja energía (tritio).

- Desarrollar métodos de dosimetría más realista para animales y plantas.
- Determinar cómo los efectos producidos por la exposición a radiaciones ionizantes a nivel de individuo, se ponen de manifiesto en niveles superiores de organización (poblaciones, comunidades, ecosistemas).
- Estimar los riesgos para la biota derivados de exposiciones a radiación ionizante en presencia de otros contaminantes o factores de estrés, es decir en condiciones más realistas, un área en el que actualmente existe muy poca información [9].

BIBLIOGRAFÍA

- [1] ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4).
- [2] ERICA. 2007. D-ERICA: An Integrated Approach to the assessment and management of environmental risks from ionising radiation. Description of purpose, methodology and application. Editors: N. Beresford, J. Brown, D. Copplestone, J. Garnier-Laplace, B. Howard, C-M Larsson, D. Oughton, G Pröhl and I. Zinger.
- [3] IAEA 1992, Effects of ionizing radiation on plants and animals at levels implied by current radiation protection standards. Technical Reports Series No. 332.
- [4] UNSCEAR 1996. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report to the General Assembly, with Scientific Annex, United Nations.
- [5] ICRP, 1977. Recommendations of the ICRP. ICRP Publication 26. Ann. ICRP 1 (3).
- [6] ICRP, 1991. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21 (1-3).
- [7] ICRP, 2003. A Framework for Assessing the Impact of Ionising Radiation on Non-human Species. ICRP Publication 91. Ann. ICRP 33 (3).
- [8] ICRP. 2008. Environmental Protection - the Concept and Use of Reference Animals and Plants. ICRP Publication 108. Ann. ICRP 38 (4-6).
- [9] Vanhoudt N., Vandenhove H., Real A., Bradshaw C. and Stark K. 2012. A Review of Multiple Stressor Studies that Include Ionising Radiation. Environmental Pollution 168: 177-19 ■