

SUMARIO

EDITORIAL

- Radiaciones ionizantes y salud.** María del Rosario Pérez 1

PRESENTACIÓN

19ª JORNADA TÉCNICA SESA SOBRE RADIACIONES IONIZANTES Y SALUD

- Las radiaciones ionizantes: una realidad cotidiana.** Eduardo Gallego Díaz..... 6
- El sistema de vigilancia radiológica ambiental en España.** Rosario Salas Collantes y Carmen Rey del Castillo 24
- El gas radón como contaminante atmosférico.** Luis Santiago Quindós Poncela, Carlos Sainz Fernández, Luis Quindós López, Ismael Fuente Merino y José Luis Arteché 32
- Novedades de interés en la futura directiva europea de protección radiológica.** David Cancio Pérez..... 38
- Riesgos derivados de la exposición a dosis bajas de radiación ionizante.** Almudena Real Gallego 43
- Riesgos vinculados a la exposición al radón.** Juan Miguel Barros Dios.. 49
- Utilización de la energía nuclear: la percepción del riesgo radiológico del público. Experiencia desde el sector sanitario.** Leopoldo Arranz y Carrillo de Albornoz 53
- Situación del sector nuclear en España.** Antonio González Jiménez 57

ORIGINALES

- Metodología para caracterizar el riesgo en sitio contaminado. Caso Abra Pampa (Jujuy-Argentina).** Jorge Ricardo Castro Mariscal, Olga Noemí Saavedra, Norma Rosario Wierna, Ana Josefa Martos Mula, Margarita Ana Rojas y María Graciela Bovi Mitre 65
- Exposición a plaguicidas con toxicidad dérmica en agricultores de la Comunitat Valenciana.** Caterina Brandon Garcia, María del Carmen Vicente Sender, Joan Gassó Pla y Máximo Pérez Gonzalvo 73

HISTORIAS HETERODOXAS

- El Instituto de Medicina del Trabajo.** José Vicente Martí Boscà 78

- NOTICIAS SESA 81

REVISTA DE SALUD AMBIENTAL

Revista de la Sociedad Española de Sanidad Ambiental

REVISTA DE SALUD AMBIENTAL, órgano de la Sociedad Española de Sanidad Ambiental, pretende actuar como publicación científica en el ámbito de las disciplinas destinadas a proteger la salud de la población frente a los riesgos ambientales y, a su vez, permitir el intercambio de experiencias, propuestas y actuaciones entre los profesionales de la Sanidad Ambiental y disciplinas relacionadas como son la Higiene Alimentaria, la Salud Laboral, los laboratorios de Salud Pública, la Epidemiología Ambiental o la Toxicología Ambiental.

Periodicidad

Dos números al año

Correspondencia científica

Revista de Salud Ambiental
Apartado de correos 108, 46110 Godella, Valencia

Comité de Redacción

Direcció General d'Investigació i Salut Pública
Av. de Catalunya, 21 46020-Valencia

Suscripciones

Secretaría técnico-administrativa de la SESA: MasterCongresos, S. L.

C/ Ramón y Cajal 5. 28100 Alcobendas - MADRID
Tel.: +34 91 662 46 50 - Fax: +34 91 661 50 06; sesa@mastercongresos.com

Precios suscripciones

Para los miembros de la SESA la suscripción está incluida en la cuota de socio

Suscripción anual: 25 €

Ejemplar suelto: 16 €

Ejemplar doble: 28 €

Para el extranjero los precios son los mismos más los gastos de envío

D. L.: V-2.644-2001

ISSN: 1577-9572

ISSN: 1697-2791

Imprime: Rotodomenech, S. L.

COPYRIGHT. Cuando el manuscrito es aceptado para su publicación, los autores ceden de forma automática el *copyright* a la Sociedad Española de Sanidad Ambiental. Ninguno de los trabajos publicados en REVISTA DE SALUD AMBIENTAL, podrá ser reproducido, total o parcialmente, sin la autorización escrita de la Sociedad Española de Sanidad Ambiental.

SALUD AMBIENTAL

REVISTA DE SALUT AMBIENTAL · REVISTA DE SAÚDE AMBIENTAL · INGURUGIRO-OSASUNEKO ALDIZKARIA

SUMARIO

EDITORIAL

Radiaciones ionizantes y salud. María del Rosario Pérez 1

PRESENTACIÓN

19ª JORNADA TÉCNICA SESA SOBRE RADIACIONES IONIZANTES Y SALUD

Las radiaciones ionizantes: una realidad cotidiana. Eduardo Gallego Díaz 6

El sistema de vigilancia radiológica ambiental en España. Rosario Salas Collantes y Carmen Rey del Castillo 24

El gas radón como contaminante atmosférico. Luis Santiago Quindós Poncela, Carlos Sainz Fernández, Luis Quindós López, Ismael Fuente Merino y José Luis Arteché 32

Novedades de interés en la futura directiva europea de protección radiológica. David Cancio Pérez 38

Riesgos derivados de la exposición a dosis bajas de radiación ionizante. Almudena Real Gallego 43

Riesgos vinculados a la exposición al radón. Juan Miguel Barros Dios 49

Utilización de la energía nuclear: la percepción del riesgo radiológico del público. Experiencia desde el sector sanitario. Leopoldo Arranz y Carrillo de Albornoz 53

Situación del sector nuclear en España. Antonio González Jiménez 57

CONTENTS

EDITORIAL

Ionizing radiation and health. María del Rosario Pérez 1

PRESENTATION

19ª JORNADA TÉCNICA SESA SOBRE RADIACIONES IONIZANTES Y SALUD

The ionising radiations: a daily reality. Eduardo Gallego Díaz 6

The environmental radiation monitoring system in Spain. Rosario Salas Collantes and Carmen Rey del Castillo 24

The radon gas. An air pollutant. Luis Santiago Quindós Poncela, Carlos Sainz Fernández, Luis Quindós López, Ismael Fuente Merino and José Luis Arteché 32

News of interest in the future european directive for radiological protection. David Cancio Pérez 38

Risks of low dose ionising radiation exposures. Almudena Real Gallego 43

Risks relatd to exposure to radon. Juan Miguel Barros Dios 49

Use of nuclear energy: the perception of public risk from radiation. Experience from health sector. Leopoldo Arranz y Carrillo de Albornoz 53

Status of the nuclear sector in Spain. Antonio González Jiménez 57



ORIGINALES

Metodología para caracterizar el riesgo en sitio contaminado. Caso Abra Pampa (Jujuy-Argentina). Jorge Ricardo Castro Mariscal, Olga Noemí Saavedra, Norma Rosario Wierna, Ana Josefa Martos Mula, Margarita Ana Rojas y María Graciela Bovi Mitre 65

Exposición a plaguicidas con toxicidad dérmica en agricultores de la Comunitat Valenciana. Caterina Brandon Garcia, María del Carmen Vicente Sender, Joan Gassó Pla y Máximo Pérez Gonzalvo 73

HISTORIAS HETERODOXAS

El Instituto de Medicina del Trabajo. José Vicente Martí Boscà 78

NOTICIAS SESA 81

ORIGINALS

Methodology for risk characterization in contamination site. Abra Pampa case (Jujuy-Argentina). Jorge Ricardo Castro Mariscal, Olga Noemí Saavedra, Norma Rosario Wierna, Ana Josefa Martos Mula, Margarita Ana Rojas y María Graciela Bovi Mitre 65

Exposure to pesticides with dermal toxicity in farmers of Community of Valencia. Caterina Brandon Garcia, María del Carmen Vicente Sender, Joan Gassó Pla y Máximo Pérez Gonzalvo 73

HETERODOX HISTORY

The Institute of Occupational Medicine. José Vicente Martí Boscà 78

NEWS FROM SESA 81

REVISTA DE SALUD AMBIENTAL
Sociedad Española de Sanidad Ambiental

COMITÉ EDITORIAL

Director

José Vicente Martí Bosca
Direcció General d'Investigació i Salut Pública
marti_josboc@gva.es

Directores adjuntos

Emiliano Aránguez Ruiz
Observatorio de Alimentación, Medio Ambiente y Salud
emiliano.aranguez@salud.madrid.org

Rosalía Fernández Patier
Centro Nacional de Sanidad Ambiental
rfernandez@isciii.es

Editor técnico

Javier Parra Gasent

Editores asociados

Javier Aldaz Berruezo
Instituto de Salud Pública de Navarra

Juan Atenza Fernández
Instituto de Ciencias de la Salud de Castilla-La Mancha

Volney M. de Câmara
Instituto de Estudos em Saúde Coletiva

Rafael J. García-Villanova Ruiz
Universidad de Salamanca

José Jesús Guillén Pérez
Área de Salud de Cartagena

Jesús M.^a Ibarlucea Maurologoitia
Instituto de Investigación Sanitaria BioDonostia

Antonio López Lafuente
Universidad Complutense de Madrid

Gilma C. Mantilla
International Research Institute for Climate and Society (IRI)

Stella Moreno Grau
Universidad Politécnica de Cartagena

Rogerio Nunes
Sociedade Portuguesa de Saúde Ambiental

Margarita Palau Miguel
Ministerio de Sanidad, Política Social e Igualdad

Luis Francisco Sánchez Otero
Organización del Tratado de Cooperación de la Amazonía

Silvia Suárez Luque
Xunta de Galicia

María M. Morales Suárez-Varela
Universitat de València

JUNTA DIRECTIVA DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE SANIDAD AMBIENTAL

Presidente

José María Ordóñez Iriarte

Vicepresidente

Ángel Gómez Amorín

Secretaria

Guadalupe Martínez Juárez

Tesorero

José Jesús Guillén Pérez

Vocales

Emiliano Aránguez Ruiz
Covadonga Caballo Diéguez

Ana Fresno Ruiz
Saúl-Alvez García Dos Santos

Antonio López Lafuente
Isabel Marín Rodríguez

María Teresa Martín Zuriaga
María Luisa Pita Toledo

RADIACIONES IONIZANTES Y SALUD

IONIZING RADIATION AND HEALTH

María del Rosario Pérez

Programa sobre Radiaciones y Salud Ambiental. Departamento de Salud Pública y Medio Ambiente.
Organización Mundial de la Salud

La salud es vista cada vez más como un aspecto clave de la seguridad humana y una alta prioridad para el desarrollo. Hoy más que nunca, la seguridad sanitaria internacional es tanto una aspiración como una responsabilidad colectiva. En el año 2000, los 189 Estados miembros de las Naciones Unidas establecieron los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM). Estos objetivos sitúan a la salud en el centro de la estrategia general hacia un progreso más equilibrado. Las metas de los ODM deberán alcanzarse en 2015 y el segundo decenio del siglo XXI ya está en marcha, hemos entrado en la recta final y el cumplimiento de los ODM supone hoy un reto para la humanidad.

El séptimo objetivo (ODM7) se plantea garantizar la sostenibilidad del medio ambiente, un aspecto indisoluble del desarrollo sustentable. Los factores de riesgo ambiental son determinantes de la salud humana y plantean nuevos retos en la agenda de salud global. Alrededor de una cuarta parte de la carga mundial de morbilidad, y más de un tercio de la carga de morbilidad entre los niños, es atribuible a factores de riesgo ambiental de naturaleza química, física o biológica. Las radiaciones ionizantes forman parte de los factores físicos considerados dentro del conjunto de riesgos ambientales.

Las aplicaciones de las radiaciones ionizantes son numerosas en el ámbito de la medicina, industria, agricultura, e investigación. El desarrollo tecnológico ha abierto nuevas perspectivas para su uso, mejorando la seguridad y eficacia de los procedimientos. Pero debe tenerse en cuenta que el manejo incorrecto o inadecuado de estas tecnologías puede introducir riesgos potenciales para la salud. El control de estos riesgos debe brindar un adecuado nivel de protección para las personas y el medio ambiente sin limitar indebidamente los potenciales beneficios tanto para los individuos como para la sociedad.

El Departamento de Salud Pública y Medio Ambiente, de la Organización Mundial de la Salud (OMS) tiene como objetivo promover un ambiente más sa-

ludable, intensificar la prevención primaria, e influenciar las políticas públicas en todos los sectores a fin de abordar las causas fundamentales de las amenazas ambientales para la salud. En este marco, la OMS está llevando adelante un programa sobre radiaciones y salud ambiental para proteger a los pacientes, trabajadores y miembros del público en situaciones de exposición existente, planificada y de emergencia.

Si bien los efectos de la radiación sobre la salud han sido ampliamente estudiados y existe un robusto cuerpo de información epidemiológica y experimental que sustenta el actual conocimiento, existe una necesidad de continuar y ampliar las investigaciones dirigidas a evaluar los riesgos para la salud particularmente para exposiciones a bajas dosis. Esto incluye no solo la inducción de cáncer sino también los efectos no carcinogénicos tales como efectos cardiovasculares, efectos sobre el sistema inmune, efectos sobre el cristalino (ej. cataratas). Las exposiciones a radiaciones ionizantes ocurridas en la vida prenatal o en la infancia requieren una consideración particular en la agenda de investigación. Los niños son particularmente sensibles a los efectos de la radiación y tienen más tiempo para expresar posibles efectos a largo plazo, tales como la inducción de cáncer.

La vivienda es un ambiente con profundo impacto en la salud humana. El control de la exposición a factores de riesgo ambiental en las viviendas tiene una importancia crucial en salud pública. La exposición al gas radón es la segunda causa de cáncer de pulmón después del tabaco en muchos países. Los datos epidemiológicos han aportado evidencia de un mayor riesgo de cáncer de pulmón vinculado con concentraciones bajas y moderadas de radón en el interior de las viviendas, siendo el riesgo de cáncer pulmonar mucho mayor en los fumadores.

La OMS llevó a cabo el Proyecto Internacional Radón, un foro internacional para el intercambio científico sobre el riesgo de la exposición al radón residencial, el

debate sobre políticas e intervenciones para la prevención y mitigación, y la discusión de estrategias de comunicación de riesgo. El manual de la OMS Radón residencial - Una perspectiva de salud pública, desarrollado en el marco de dicho proyecto, proporciona recomendaciones para la reducción de los riesgos para la salud y brinda opciones para prevenir y mitigar la exposición. Actualmente, la OMS está promoviendo su uso como herramienta de educación y entrenamiento, así como para el desarrollo e implementación de programas nacionales de radón. La idea es integrar al radón dentro del concepto de vivienda saludable, e involucrar a los profesionales de arquitectura, diseño y construcción.

Alrededor de un 17% de la energía eléctrica generada en el mundo es de origen nuclear. La creciente preocupación sobre el cambio climático, la protección del medio ambiente y la crisis energética han reabierto el debate en torno a la energía nuclear. En este contexto se han desarrollado metodologías para la evaluación del impacto sobre la salud y el medio ambiente de la minería del uranio y otras industrias extractivas, así como de las distintas etapas del ciclo del combustible nuclear, la operación y desmantelamiento de instalaciones y gestión de residuos. Por todo ello, adquieren relevancia la implementación de estándares de seguridad radiológica y el reforzamiento de la cultura de seguridad en este ámbito.

La rápida evolución del radiodiagnóstico, de la radiología intervencionista, de la medicina nuclear y de la radioterapia han convertido a las radiaciones ionizantes en una de las herramientas de diagnóstico más importantes y en un componente esencial del tratamiento del cáncer. Un área de especial preocupación es el uso innecesario del radiodiagnóstico cuando la evaluación clínica u otras modalidades de diagnóstico por imágenes podrían ofrecer un diagnóstico preciso (justificación de los procedimientos). Se debe alentar el uso de guías de prescripción para la correcta solicitud de pruebas diagnósticas como herramienta de soporte para la toma de decisiones. Una vez justificado el procedimiento, siempre que sea posible, se deben usar métodos para la reducción de la dosis, sin que ello afecte el cumplimiento del propósito médico (optimización de la protección).

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR) ha reportado que anualmente más de 2.000 pacientes en todo el mundo resultan accidentalmente sobreexposados durante procedimientos de radioterapia. Exposiciones accidentales o no planificadas han sido también reportadas en pacientes sometidos a procedimientos de diagnóstico por imagen, radiología intervencionista y medicina nuclear. El desarrollo de tecnologías más complejas presenta nuevos retos en términos de garantía de calidad, seguridad de los equipos,

capacitación y dotación de personal. Siendo la prevención primaria esencial, los sistemas de registro y notificación de incidentes y efectos adversos permiten el análisis de perfiles de riesgo y contribuyen al mejoramiento de la cultura de seguridad de los profesionales de la salud.

La OMS está llevando a cabo una iniciativa mundial sobre seguridad radiológica en el ámbito sanitario para movilizar el sector de la salud hacia un uso más seguro y efectivo de la radiación en medicina. Mediante un conjunto de actividades en las áreas de evaluación, gestión y comunicación de riesgo, esta iniciativa reúne autoridades de salud, organizaciones internacionales, asociaciones profesionales, sociedades científicas e instituciones académicas en una acción concertada para mejorar la aplicación de las normas de seguridad radiológica en establecimientos de salud. La protección radiológica de los niños y de la mujer gestante constituye un aspecto prioritario de esta iniciativa.

Las normas básicas internacionales de seguridad (NBS) para la protección contra las radiaciones ionizantes y para la seguridad de las fuentes de radiación son el resultado de un esfuerzo internacional sin precedentes hacia la armonización de los requerimientos de protección radiológica de los pacientes, los trabajadores y el público. Copatrocinadas por la Agencia de Energía Nuclear (AEN/OCDE), la Organización para la Agricultura y Alimentación (FAO), el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), la Organización Internacional del Trabajo (OIT), la OMS y la Organización Panamericana de la Salud (OPS), las NBS han sido un punto de referencia internacional en materia de seguridad radiológica.

Una secretaría conjunta de las organizaciones copatrocinadoras, a las que se sumó el Comité de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de la Radiación (UNSCEAR) y la Comisión Europea (CE), ha conducido un proceso de revisión de las NBS internacionales que se inició en el año 2006 y que está a punto de concluir. Este proceso se llevó a cabo de forma paralela al proceso de revisión y consolidación de la directiva europea referente a las normas básicas de seguridad radiológica. Una estrecha colaboración entre la CE y todos los copatrocinadores de la NBS internacionales ha contribuido a la consistencia de las normas europeas e internacionales, que facilitará su implementación y el establecimiento de una cultura de la seguridad basada en principios compartidos internacionalmente.

En este contexto, la Sociedad Española de Sanidad Ambiental (SESA) organizó la 19ª Jornada Técnica SESA sobre Radiaciones Ionizantes y Salud. Para ello, contó con la colaboración de la Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR). La OMS celebra esta

iniciativa conjunta de ambas sociedades y se complace en presentar este número de la Revista de Salud Ambiental, que resume las diversas disertaciones presentadas. Durante la Jornada se abordaron temas relevantes en materia de protección radiológica y salud ambiental con un enfoque multisectorial que aporta la

visión de las distintas partes interesadas. Este enfoque es consistente con la visión de la OMS, tendente a proporcionar una plataforma para aunar esfuerzos internacionales hacia una utilización más segura y eficaz de las radiaciones ionizantes.

PRESENTACIÓN

PRESENTATION

Sociedad Española de Sanidad Ambiental

El hombre está expuesto a las radiaciones naturales desde su aparición como tal en el planeta Tierra. A estas fuentes naturales, el hombre ha incorporado las procedentes de fuentes artificiales creadas expresamente por él con diferentes fines.

Las radiaciones se clasifican en ionizantes y no ionizantes en virtud de la energía asociada que tienen. Se definen como radiaciones ionizantes aquellas de muy alta frecuencia (baja longitud de onda) que tienen la suficiente energía como para producir ionización, rompiendo los enlaces atómicos que mantienen a las moléculas unidas.

Dentro de las radiaciones ionizantes encontramos las que son naturales y las que son artificiales. Naturales como el uranio ($^{235/238}\text{U}$), el potasio (^{40}K) o el gas radón (^{222}Rn) procedente de la desintegración del uranio y el torio; artificiales como las procedentes de las centrales nucleares, las armas atómicas o las instalaciones con fines médicos, de investigación o uso industrial.

La existencia de fuentes generadoras de radiaciones ionizantes hace necesaria su vigilancia y control, así como la vigilancia de los niveles de radiación en el medio ambiente, tarea que en España recae en el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), organismo de derecho público, independiente de la Administración del Estado.

Sin embargo, la presencia de fuentes de radiaciones ionizantes, sean estas utilizadas con fines sanitarios, de investigación o de producción energética, siempre han despertado una cierta inquietud entre la población por los riesgos sanitarios que pueden entrañar.

A principios del año 2010 se abrió un debate en la sociedad española en relación a la gestión de los residuos radiactivos de alta actividad procedentes de las centrales nucleares operativas en nuestro país. El punto crítico se centraba en la ubicación del Almacén Temporal Centralizado de Residuos (ATC) del combustible irradiado y de los residuos radiactivos de alta actividad, como etapa intermedia a la ubicación, en un plazo de 60 años, del Almacén Geológico

Profundo (AGP) o al desarrollo de otras alternativas tecnológicas más adecuadas para la gestión de estos residuos.

La designación del emplazamiento que finalmente albergue la instalación ATC y su centro tecnológico asociado se basará en un proceso de propuestas de municipios voluntarios supervisado por una comisión interministerial, creada a tal efecto.

Varios fueron los municipios que presentaron sus propuestas, lo que conllevó debates y manifestaciones por parte de aquellos ciudadanos que estaban en contra del ATC. Entre los argumentos esgrimidos estaban los riesgos sanitarios potenciales que pueden derivarse de las exposiciones que se puedan producir.

Además, este debate se inscribe en uno si cabe más importante como es el del establecimiento de la política energética española para los próximos 40 años y la decisión de qué papel debe jugar la energía nuclear en esta política.

Por todo ello, la Sociedad Española de Sanidad Ambiental (SESA), como entidad científica, quiso contribuir al debate abierto organizando unas jornadas donde, desde la reflexión científica y el sosiego, se pudiesen conocer las distintas posturas sobre los riesgos reales, actuales y futuros de las radiaciones ionizantes, tanto las debidas a las instalaciones, incluidas las derivadas de los almacenamientos, como las debidas a las radiaciones de origen natural.

La Jornada tuvo lugar el día 15 de abril de 2010 en el Parque de las Ciencias de Granada, con una asistencia de más de 250 personas, técnicos de sanidad ambiental en su gran mayoría, que tuvieron la oportunidad de incorporar a su acervo científico un aspecto más de los riesgos ambientales para la salud.

SESA quiere agradecer a todos los ponentes que participaron en la misma por la excelencia de sus ponencias y por haber redactado el conjunto de manuscritos que forman parte de este monográfico. No se haría justicia si no manifestásemos nuestro especial agradeci-

miento al doctor Leopoldo Arranz Carrillo de Albornoz, quien con su buen saber hacer ayudó de manera exquisita a que esta Jornada tuviese lugar y al presidente de la Sociedad Española de Protección Radiológica, don Pío Carmena Servet, que colaboró estrechamente en la organización de la misma.

Fruto del encuentro que se produjo en esta Jornada, el pasado día 21 de octubre del año 2010 se firmó un con-

venio de colaboración entre la Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR) y la Sociedad Española de Sanidad Ambiental (SESA).

El objeto de dicho convenio no es otro que el de establecer sinergias para dar respuesta a los problemas sanitario ambientales que puedan derivarse de potenciales exposiciones ambientales de la población a radiaciones ionizantes.

LAS RADIACIONES IONIZANTES: UNA REALIDAD COTIDIANA

THE IONISING RADIATIONS: A DAILY REALITY

Eduardo Gallego Díaz

Departamento de Ingeniería Nuclear. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid

RESUMEN

Este trabajo introduce la naturaleza de las sustancias radiactivas y de la radiación ionizante, los efectos que causa sobre la materia y los medios disponibles para su detección y medida, así como las fuentes de radiación naturales a las que los seres humanos estamos expuestos. Seguidamente, en el apartado más amplio del trabajo, se describen las múltiples aplicaciones de las radiaciones ionizantes en la medicina, la agricultura, la industria, las ciencias de la tierra, la biología y otras ramas, lo que permite poder poner su impacto en perspectiva frente al de las fuentes naturales. La tesis final del artículo es que para evitar sufrir daños resulta necesario protegerse adecuadamente de los efectos nocivos de la radiación y las sustancias radiactivas, pero sin limitar innecesariamente su utilización beneficiosa en los numerosos ámbitos descritos. Ese es el objetivo fundamental de la protección radiológica, cuyos principios básicos se presentan para terminar.

PALABRAS CLAVE: radiaciones ionizantes; fuentes de radiación; radiación natural; usos de la radiación; dosis de radiación; protección radiológica.

INTRODUCCIÓN

La radiactividad es uno de los grandes descubrimientos del hombre contemporáneo. A la par que se fueron conociendo sus efectos también se fueron encontrando aplicaciones de gran utilidad, en las que las sustancias radiactivas o los aparatos emisores de radiaciones ionizantes resultan insustituibles. Además de la medicina, la agricultura, la industria, las ciencias de la tierra, la biología y otras muchas ramas dependen hoy en día en muchos aspectos de su utilización.

Este trabajo introduce la naturaleza de las sustancias radiactivas y de la radiación ionizante, los efectos que esta causa sobre la materia y los medios disponibles para su detección y medida, así como las diferentes fuentes de radiación naturales a las que los seres humanos estamos expuestos. Seguidamente, en el apartado más amplio del trabajo, se describen las múltiples

ABSTRACT

This paper introduces the nature of the radioactive substances and of the ionising radiation, the effects that they cause on the matter and the available media for their detection and measure, as well as the sources of natural radiation, to which the human being are exposed. Next, in the more detailed part of this paper, it is described the wide range of ionising radiations uses in: medicine, agriculture, earth sciences, biology and in some other scientific fields, that allow to pose its impact in the perspective of facing the ones from natural sources. The article concludes that for avoiding damages it is necessary proper protection against the radioactive substances, but avoiding limitation their beneficial uses in the various ranges described. For finishing this paper, the basic principles of radiation protection are described, due to they are the its principal aim.

KEY WORDS: ionising radiations; radiation sources; natural radiation; radiation uses; radiation dose; radiation protection.

aplicaciones de las radiaciones ionizantes para poder poner su impacto en perspectiva frente al de las fuentes naturales. La tesis final del artículo es que para evitar sufrir daños resulta necesario protegerse adecuadamente de los efectos nocivos de la radiación y las sustancias radiactivas, pero sin limitar innecesariamente su utilización beneficiosa en los numerosos ámbitos descritos. Ese es el objetivo fundamental de la protección radiológica, cuyos principios básicos se presentan para terminar.

RADIOACTIVIDAD Y EMISIÓN DE RADIACIÓN IONIZANTE

La emisión de radiaciones ionizantes es una característica común a muchos átomos en cuyo núcleo el número de neutrones resulta escaso o excesivo, lo que los hace inestables. Esos átomos son llamados *radiactivos*. En

ellos, las ligaduras nucleares se transforman en busca de configuraciones más estables, a la vez que se libera energía, asociada a la radiación emitida. Esta puede ser de cuatro tipos fundamentales: partículas alfa (α), que consisten en dos protones y dos neutrones, con capacidad limitada de penetración en la materia, pero mucha intensidad energética; partículas beta (β), que son electrones o positrones procedentes de la transformación en el núcleo de un neutrón en un protón o viceversa, algo más penetrantes aunque menos intensas; radiación gamma (γ), que es radiación electromagnética del extremo más energético del espectro, por tanto muy penetrante; y neutrones, que al no poseer carga eléctrica también son muy penetrantes (Figura 1).

La velocidad con que dichas transformaciones tienen lugar en una sustancia radiactiva se denomina *actividad*, y se medirá como el número de átomos que se transforman o desintegran por unidad de tiempo, teniendo como unidad natural (1 desintegración/segundo) el becquerel, así llamado en honor al descubridor de la radiactividad. El becquerel es la unidad del Sistema Internacional (SI) legalmente establecida en España¹. Una unidad anteriormente utilizada, pero que no pertenece al SI, es el curio, correspondiente a la actividad existente en un gramo de ²²⁶Ra ($3,7 \cdot 10^{10}$ desintegraciones/segundo). El becquerel (cuyo símbolo es Bq) es una unidad muy pequeña y de poco uso práctico (sería como medir longitudes o distancias en micras), baste decir que nuestro propio organismo contiene aproximadamente 4.000 becquerels de ⁴⁰K, por lo que siempre se emplean sus múltiplos. Por el contrario 1 curio (Ci) es una actividad considerable, e incluso peligrosa según las sustancias, por lo que se emplean a menudo sus submúltiplos.

La radiactividad es un fenómeno independiente de cualquier influencia externa (presión, temperatura, ilu-

minación, etc.), ya que al provenir del núcleo atómico, solo podrán modificarla aquellos agentes que sean capaces de alterar las propiedades del propio núcleo. La radiactividad tiene naturaleza aleatoria, caracterizada por la llamada *constante de desintegración radiactiva* λ , cuyo significado es la probabilidad de desintegración de un núcleo radiactivo por unidad de tiempo. Esta constante depende únicamente del tipo de nucleido y del modo de desintegración. Tiene unidades de tiempo inverso (s^{-1} , min^{-1} , h^{-1} , etc.). Su inverso representa la esperanza de vida de un átomo cualquiera, también llamada *vida media* τ .

Si se considera una sola sustancia que contenga inicialmente un número suficientemente grande de átomos radiactivos N_0 , dicho número se reduce siguiendo una ley de tipo exponencial decreciente con el paso del tiempo. El tiempo al cabo del cual el número de átomos radiactivos se reduce a la mitad se denomina *período de semidesintegración* T . Este es característico de cada radionucleido, y varía entre fracciones de segundo y millones de años. Conociendo el período se pueden hacer cálculos rápidos sobre el decrecimiento de una sustancia radiactiva, ya que al cabo de K veces el período, el número medio de átomos se habrá reducido por 2^K .

Además de mediante la desintegración radiactiva, también se generan radiaciones ionizantes cuando se consigue acelerar partículas elementales (habitualmente electrones, positrones o protones) mediante campos electromagnéticos intensos, como en el caso de los aceleradores de partículas. A las energías conferidas, dichas partículas elementales resultan ionizantes. También se emite radiación electromagnética de alta frecuencia, denominada radiación X, al producirse saltos de electrones entre distintos niveles de energía en la corteza atómica, como resultado de algunas formas

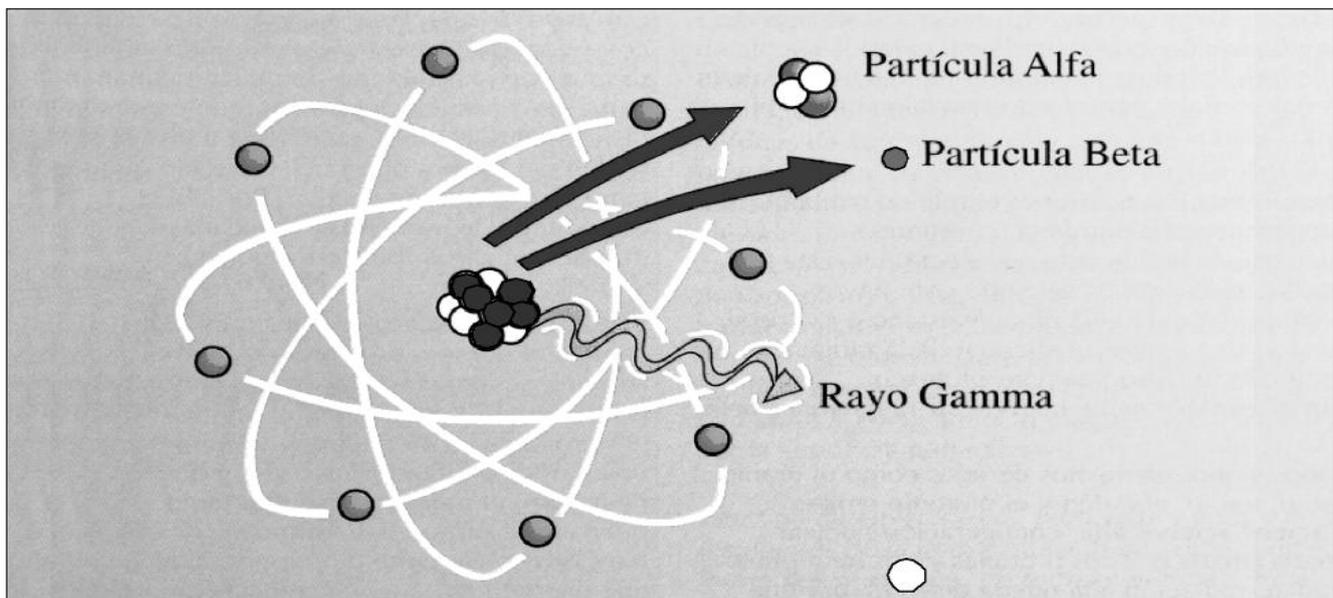


FIGURA 1. Ilustración de los distintos tipos de partículas emitidas por las sustancias radiactivas.

de desintegración radiactiva o al proyectar un haz de electrones rápidos sobre un blanco sólido denso. En general, las interacciones de partículas muy energéticas con la materia provocan reacciones que acaban liberando radiación ionizante.

INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN CON LA MATERIA

A su paso por la materia, la radiación sufre distintos tipos de interacción, según su naturaleza. De todos los efectos, dado su gran impacto sobre las moléculas esenciales para la vida, destaca la *ionización*. De forma breve, se puede decir que para partículas cargadas (α y β) la interacción básica responde a la ley de Coulomb entre cargas eléctricas, la cual da lugar a dos fenómenos elementales: la *excitación atómica* (o molecular) y la *ionización*. También puede ser significativa la aceleración (o deceleración) de las partículas cargadas cuando penetran en el campo eléctrico del núcleo, lo que produce la emisión de fotones que se conocen como *radiación de frenado* (o *bremstrahlung*), siendo de mayor importancia cuanto menor masa tenga la partícula y mayor carga el átomo, es decir que tendrá importancia para partículas β , especialmente con átomos de elevado número atómico Z . En el caso particular de la radiación de tipo β^+ , los positrones se aniquilan al encontrarse con los electrones de la corteza atómica, sus antipartículas, y como resultado se emiten dos fotones de aniquilación, con una energía muy precisa (0,511 MeV) y en direcciones opuestas, lo que constituye el fundamento de la técnica PET (tomografía por emisión de positrones), descrita más adelante.

En el caso de los fotones, su energía puede ser absorbida por el medio mediante tres procesos fundamentales: el efecto fotoeléctrico, el efecto Compton y la producción de pares electrón-positrón, cuyas probabilidades de ocurrencia dependen de la energía inicial de los fotones. Todos ellos originan la aparición de partículas cargadas, con lo cual dan origen posteriormente a las interacciones comentadas anteriormente, por lo que se dice que son indirectamente ionizantes. El alcance de la radiación γ en aire puede llegar a los centenares de metros, pudiendo traspasar el cuerpo humano, y hasta varios centímetros de plomo.

Con respecto a los neutrones, al carecer de carga eléctrica, solamente pueden interactuar con los núcleos de los átomos mediante las diferentes reacciones nucleares posibles (dispersión elástica e inelástica, captura radiactiva, transmutación o fisión). Puesto que los núcleos ocupan una fracción ínfima del volumen total de la materia, los neutrones podrán desplazarse distancias relativamente grandes antes de interactuar, resultando ser muy penetrantes.

ATENUACIÓN DE LA RADIACIÓN. BLINDAJE

La atenuación que sufre la radiación a su paso por la materia dependerá fundamentalmente de dos factores:

- El factor geométrico, que hace que con la distancia entre la fuente y el objeto la radiación sea cada vez más débil al disminuir el ángulo sólido abarcado, por lo que generalmente se tiene una proporción inversa al cuadrado de la distancia, según una ley ($1/4\pi r^2$).
- El factor material, que dependerá del tipo y energía de la radiación y de la composición del material, lo que afecta a la probabilidad de interacción.

Se denominan *materiales de blindaje* a aquellos capaces de atenuar la radiación hasta límites aceptables. Desde ese punto de vista, para detener la radiación α no habrá que proporcionar más que un pequeño espesor de plástico o metal. Con respecto a los emisores β , se emplearán también plásticos (metacrilato, polietileno) o metales ligeros (aluminio), recubiertos con plomo si la radiación de frenado pudiera ser intensa. En el caso de la radiación X o γ se podrán emplear agua, hormigón y metales (plomo, acero). Por último, para el manejo seguro de fuentes emisoras de neutrones el blindaje adecuado suele constar de varios centímetros de material hidrogenado (agua, parafina, polietileno), en el cual los neutrones rápidos se frenarán (moderarán) por colisiones elásticas fundamentalmente, seguido de unos milímetros de cadmio o de unos centímetros de boro (en los que se produce la captura de neutrones térmicos con una alta probabilidad), con lo cual la mayor parte de los neutrones serían finalmente absorbidos. Dichos materiales suelen completarse con otros de elevado espesor másico (plomo, acero u hormigón), a fin de atenuar los fotones emitidos en las diversas reacciones que provocan los neutrones.

SISTEMAS DE DETECCIÓN Y MEDIDA DE LA RADIACIÓN

Obviamente, la detección de la presencia de radiación ha de basarse en los efectos que produce sobre la materia. No estando dotado el organismo de sentidos para ello, ha de recurrirse a instrumentos adecuados capaces de detectar –e incluso hacer visibles– las partículas fundamentales subatómicas.

Puesto que el efecto principal causado por las radiaciones es la ionización, se utilizan mucho los detectores de ionización gaseosa formados en esencia por un recipiente que contiene un gas y dos electrodos con potenciales eléctricos diferentes. Los más sensibles se denominan *cámaras de ionización* y los más robustos y versátiles son los llamados contadores Geiger-Müller. La ionización en sólidos tiene una aplicación en el campo de los *detectores de semiconductores* (generalmente, germanio intrínseco o combinado con litio, o silicio), de elevada sensibilidad, en los que los pares

electrón-hueco formados por la ionización aumentan momentáneamente la conducción eléctrica, lo que permite detectar estas partículas. Otros contadores, llamados de *centelleo*, se basan en la ionización producida por partículas cargadas que se desplazan a gran velocidad en determinados sólidos y líquidos transparentes, conocidos como materiales centelleantes. La ionización produce destellos de luz visible que son captados por un tubo fotomultiplicador, de forma que se convierten en pulsos eléctricos que pueden amplificarse y registrarse electrónicamente. En numerosos campos de la investigación actual, el contador de centelleo resulta superior a todos los demás dispositivos de detección.

Otros detectores se llaman de *trazas*, porque permiten a los investigadores observar las trazas que deja a su paso una partícula. Las cámaras de destellos o de burbujas son detectores de trazas, igual que la cámara de niebla o las emulsiones fotográficas nucleares. Fundamentalmente se aplican en el estudio de la física de las partículas elementales.

Para contabilizar la cantidad de radiación recibida por una persona (la *dosis*), los *dosímetros* de uso más extendido se basan en el empleo de materiales *termoluminiscentes*, en los que se libera luz visible al ser calentados, mediante un proceso que implica dos pasos: a) la ionización inicial hace que los electrones de los átomos del material se exciten y salten del nivel de energía en reposo (*banda de valencia*) a otro excitado (*banda de conducción*), quedando algunos atrapados

en niveles intermedios creados por la presencia de impurezas en el cristal (*trampas*); y b) cuando se calienta el material y los electrones vuelven a su estado original, se emiten fotones de luz, que pueden ser amplificados y medidos al igual que se hace con los materiales de centelleo.

Con respecto a los neutrones, suelen detectarse de forma indirecta a partir de las reacciones nucleares que tienen lugar cuando colisionan con los núcleos de determinados átomos. Por ejemplo, en el caso de los neutrones térmicos, se producen partículas alfa, detectables con facilidad, al colisionar con los núcleos de ^3He , el ^{10}B o el ^6Li .

En la figura 2 se pueden ver distintos equipos de detección de las radiaciones habitualmente empleados en el trabajo en las instalaciones nucleares y radiactivas.

La sensibilidad de los equipos de detección y medida de radiaciones resulta muy superior a la que tienen otro tipo de sistemas, siendo capaces de detectar cantidades traza de prácticamente cualquier radionucleido. Ello los convierte en herramientas insustituibles siempre que sea necesario marcar una molécula cuyo destino final se tenga interés en conocer, sea en procesos físicos, químicos o biológicos. Por tanto, no es sorprendente el uso de los radisótopos en investigación. Esa misma sensibilidad hace posible la detección de los radionucleidos artificiales en el medio ambiente en cantidades millones de veces inferiores a las que pudieran resultar tóxicas. Así, por ejemplo, los valores recomen-

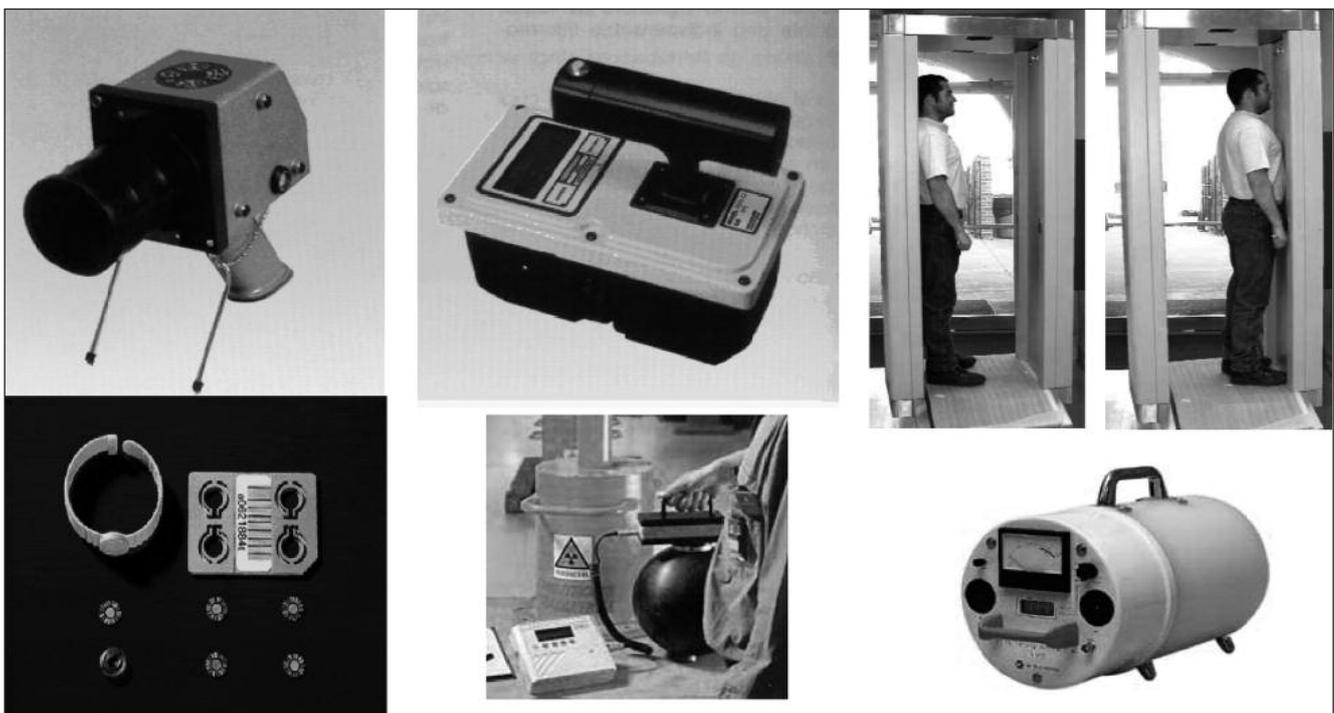


FIGURA 2. Sistemas de detección de la radiación habituales en protección radiológica: cámara de ionización; detector Geiger; monitor de contaminación, de centelleo; dosímetros termoluminiscentes; monitores de neutrones.

datos de los límites inferiores de detección (LID) para los programas de vigilancia radiológica ambiental están comprendidos entre las milésimas y las cienmilésimas de becquerel por metro cúbico de aire² o de las décimas de becquerel por litro para el agua y la leche.

DOSIS DE RADIACIÓN

Puesto que para la determinación de los efectos biológicos producidos por la radiación ha de cuantificarse la cantidad o dosis recibida en el órgano u órganos afectados, se definen y utilizan las magnitudes apropiadas, que se resumen en la tabla 1.

Así, la *dosis absorbida* sería una medida de la energía depositada por unidad de masa, siendo utilizada generalmente cuando se estudian los efectos sobre un tejido u órgano individual, mientras que la *dosis equivalente* considera ya el tipo de radiaciones y su potencial daño biológico, por lo que constituye un mejor índice de la toxicidad de las radiaciones. Las unidades de medida correspondientes, el gray (Gy) para *dosis absorbida* y el sievert (Sv) *dosis equivalente*, resultan ser muy elevadas para su utilización práctica, por lo que se emplean mucho más sus submúltiplos el miligray (mGy) y el milisievert (mSv), que son la milésima parte de la unidad original.

En la *dosis efectiva* se tiene, además, una medida del riesgo de desarrollo de cánceres o daños hereditarios, en la que se asigna un peso diferente a la dosis equiva-

lente recibida por cada órgano, según el riesgo asociado a su irradiación. Con ello, este resulta ser el índice de toxicidad más completo, especialmente si se realiza el cálculo de la dosis recibida en el organismo desde el momento de la ingestión o inhalación de productos radiactivos hasta su completa eliminación. Esta medida la ofrece la dosis efectiva comprometida, que será el índice empleado con carácter más general.

Finalmente, un concepto muy utilizado es el de la llamada *dosis colectiva*, que será la suma de las dosis (generalmente se aplica a la dosis efectiva) recibidas por un colectivo de población que esté expuesta a una misma fuente de radiación. Con la *dosis colectiva* se pueden establecer comparaciones útiles con respecto al impacto producido por las distintas fuentes de cara a su optimización.

FUENTES NATURALES DE RADIACIÓN IONIZANTE

La presencia de la radiación ionizante es una constante en nuestro mundo y en el universo. Para conocer la magnitud y estudiar los posibles impactos de la exposición a radiaciones ionizantes, la Asamblea General de la ONU estableció en 1955 un comité científico para el estudio de los efectos de la radiaciones atómicas (UNSCEAR). Dicho comité informa cada año a la Asamblea General y periódicamente publica evaluaciones, incluyendo anexos técnicos³, basadas en los resul-

TABLA 1. Magnitudes de dosis de radiación empleadas en protección radiológica y sus unidades de medida

MAGNITUD	DEFINICIÓN	UNIDADES
Dosis absorbida (D)	Cociente entre la energía media impartida por la radiación ionizante a la materia en un elemento de volumen, y la masa del mismo.	Unidad del S. I.: gray (Gy) 1 Gy = 1 J/kg Unidad histórica: rad 1 rad = 0,01 Gy
Dosis equivalente (H)	Es una ponderación de la dosis absorbida en un tejido u órgano T, para tener en cuenta el tipo de radiación, de acuerdo con su potencialidad para producir efectos biológicos. $H_T = D_{TR} \cdot W_R$ W_R - Factor de ponderación de la radiación	Unidad del S.I.: sievert (Sv) 1 Sv = 1 J/kg Unidad histórica: rem 1 rem = 0,01 Sv Valores de W_R: 1 Radiación X, beta, gamma, electrones y positrones. 5 Protones 5 a 20 Neutrones, según su energía 20 Radiación alfa, núcleos pesados
Dosis efectiva (E)	Es una suma ponderada de las dosis equivalentes recibidas por los distintos tejidos y órganos del cuerpo humano. $E = \sum w_T \cdot H_T$ Los factores w_T son representativos del detrimento, o contribución al riesgo total de daños biológicos, que supone la irradiación de cada órgano individual.	Sievert (Sv) Valores de w_T: 0,01 Superficie huesos, piel 0,05 Bazo, mama, hígado, esófago, tiroides y RESTO 0,12 Colon, pulmón, médula roja, estómago 0,20 Gónadas

tados obtenidos en los diversos países. Dichas evaluaciones constituyen la base científica de las normas de protección radiológica.

A partir del último informe de UNSCEAR³, las principales fuentes de radiación naturales, junto con su contribución a la dosis recibida anualmente por la población, según se resume en la tabla 2, son las siguientes:

- En primer lugar, el Sol y el espacio exterior, de donde procede la llamada *radiación cósmica*, que para una persona media de la Tierra supone un 13% de la dosis recibida anualmente (0,4 mSv al año).
- La propia Tierra, en cuya corteza hay grandes cantidades de uranio, torio y otros elementos radiactivos que impregnan de radiactividad todo sobre el planeta (incluyendo nuestro propio organismo). Del suelo y de los materiales de construcción se recibe radiación, que causa un 17% de la dosis promedio mundial (0,5 mSv al año). Esta contribución se reparte de manera muy irregular.
- Además el uranio, al desintegrarse de forma natural, provoca la aparición del gas radón, que se difunde a través de las grietas y poros del suelo y de los materiales de construcción, alcanzando el aire que respiramos, siendo especialmente importante su influencia en el interior de los edificios, ya que al aire libre se dispersa con más facilidad. Los productos de la desintegración del radón, sus descendientes, son también radiactivos, pero ya sólidos, y quedan normalmente unidos a las partículas de polvo presentes en el aire. Las cantidades de radón, torón (fruto de la desintegración del torio) y sus descendientes varían enormemente según el tipo de rocas que formen el suelo y los materiales con que estén construidos los edificios, como también influye mucho el tipo de ventilación de los mismos. Estos contribuyen aproximadamente al 40% de la dosis promedio mundial (con 1,2 mSv al año).
- Por último, con los alimentos y bebidas también ingerimos radionucleidos naturales, destacando el uranio y sus descendientes y sobre todo el ⁴⁰K. Algunas aguas minerales, procedentes de macizos graníticos ricos en uranio y ciertos alimentos como el marisco, son especialmente ricos en material radiactivo natural. Esta contribución viene a suponer el 10% de la dosis media mundial (0,3 mSv al año).

Las variaciones de la dosis debida al fondo natural de radiación son tremendamente variables y, si bien el promedio en el mundo es de 2,4 mSv por año, los rangos típicos van desde 1 hasta 10, con algunas ubicaciones (en India, Irán, China, Brasil...) que arrojan valores excepcionalmente altos, del orden incluso de los 100 mSv por año.

Por su parte, entre las fuentes de radiación ionizante producidas por el hombre destacan especialmente las de utilización médica, que son descritas en el siguiente apartado. Las aplicaciones médicas representan un 20% (0,6 mSv al año) en el promedio de dosis mundial, con un irregular reparto geográfico, relacionado con el nivel de desarrollo de los países.

APLICACIONES DE LAS RADIACIONES IONIZANTES

Las aplicaciones de la radiactividad y las radiaciones ionizantes se basan en sus propiedades y en los efectos que causan sobre la materia. El catálogo de aplicaciones es muy extenso y no se pretende detallarlo al completo. No obstante, en este apartado se describen las principales. Como introducción, podemos citar las siguientes aplicaciones y las propiedades en las que se basan:

- Los rayos X permiten la visión de las estructuras internas del cuerpo humano (radiodiagnóstico médico) y de cualquier pieza o material (radiografía industrial).
- Los rayos X combinados con los ordenadores permiten obtener imágenes 3-D de las estructuras internas (tomografía computarizada o TC).
- La difracción de rayos X y otras radiaciones permite determinar la estructura de cristales y moléculas, incluyendo la del ADN.
- Los isótopos radiactivos aplicados a la medicina permiten estudiar las funciones de los órganos *in vivo* (medicina nuclear).
- La emisión de radiaciones características permite emplear los radionucleidos como trazadores en múltiples campos (biológico, sanitario, medioambiental, industrial...).
- Los daños que la radiación ionizante causa en tejidos vivos permiten destruir tejidos enfermos (radioterapia contra el cáncer).

TABLA 2. Fuentes naturales de radiación. Evaluación de UNSCEAR 2008³

Fuente	DOSIS MEDIAS MUNDIALES	
	Dosis efectiva (mSv por año)	Rango típico (mSv por año)
Exposición externa		
Rayos cósmicos	0,4	0,3-1
Rayos gamma terrestres	0,5	0,3-0,6
Exposición interna		
Inhalación	1,2	0,2-10
Ingestión	0,3	0,2-0,8
Total	2,4	1-10

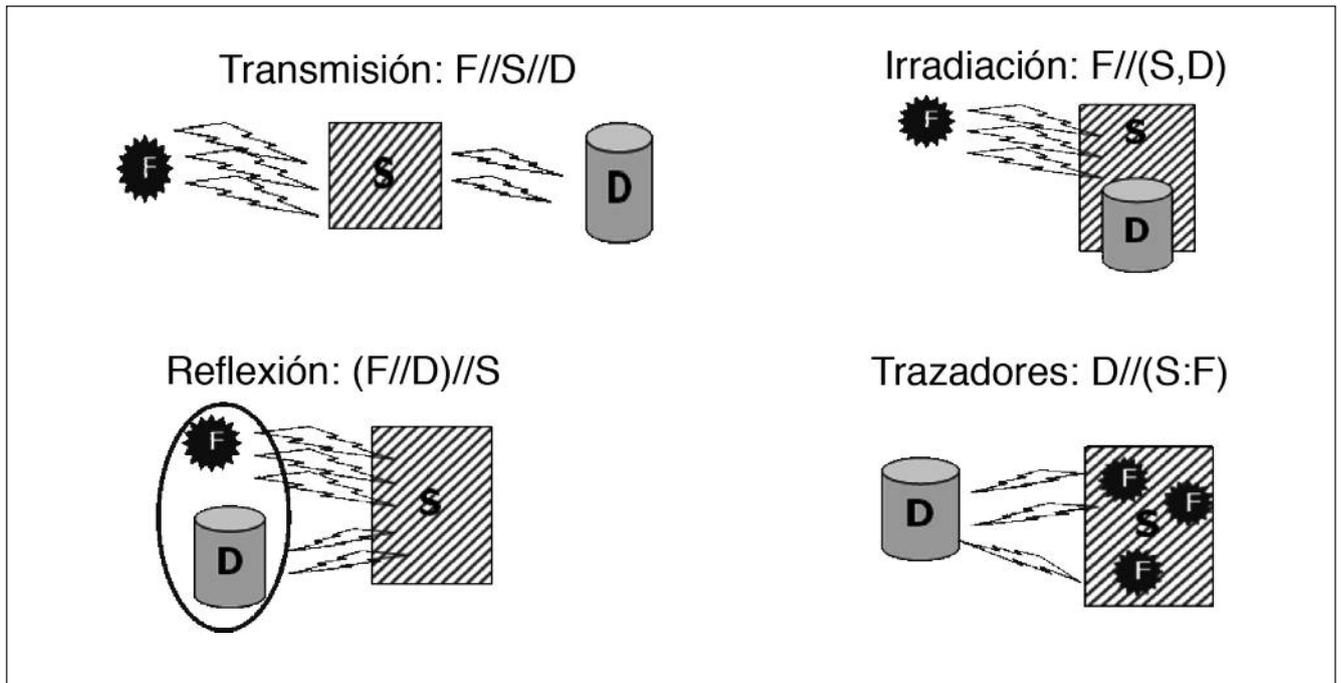


FIGURA 3. Clasificación de los tipos de aplicaciones de las radiaciones ionizantes según la configuración de la fuente (F), el sistema material (S) y el detector (D).

- La capacidad de la radiación ionizante para esterilizar permite evitar enfermedades en numerosos campos (sanitario, agropecuario, alimentario).
- La capacidad de la radiación ionizante para alterar los materiales permite obtener compuestos avanzados para diferentes aplicaciones.
- La desintegración y decaimiento radiactivo permiten la datación de minerales y restos arqueológicos.
- Las reacciones nucleares activan átomos y permiten análisis de gran sensibilidad incluso en muestras microscópicas.
- La energía nuclear permite cubrir una parte importante de las necesidades mundiales sin agotar recursos fósiles no renovables y sin emitir gases causantes del efecto invernadero.

En toda aplicación concurren tres elementos fundamentales: la fuente radiactiva (F), el detector de la radiación (D) y el sistema material (S) al cual se aplica la acción de la fuente. Las configuraciones topológicas en las que pueden disponerse los tres elementos básicos que acabamos de comentar (la fuente, el detector y el sistema) son las que se describen a continuación y se representan esquemáticamente en la figura 3:

- La configuración de transmisión, que pueden representarse en la forma F//S//D, para indicar que el sistema S está físicamente separado de la fuente F y del detector D, e interpuesto entre ellos.
- La configuración de reflexión, que puede representarse en la forma (F//D)//S, para indicar que la fuente F y el detector D, aunque separados físicamente, están situados en el mismo semiespacio libre, justamente el opuesto al que ocupa el sistema material S.

- La configuración de irradiación, propia de las aplicaciones de los irradiadores, que se puede representar en la forma F//(S, D), para indicar que el sistema S y el detector D que le acompaña, están separados de la fuente F.
- Por último, las aplicaciones de los trazadores pueden representarse mediante una configuración de la forma D//(S:F), para indicar que la fuente F está diluida en el sistema S, mientras el detector D permanece separado e independiente.

Las aplicaciones requieren disponer de los isótopos necesarios o de los equipos emisores de radiación. Para algunas aplicaciones, las radiaciones necesarias pueden generarse en aparatos emisores como los tubos de rayos X o los aceleradores. La producción de radioisótopos requiere disponer de pequeños reactores de investigación o de aceleradores de electrones, protones u otras partículas dedicados a ello, junto con las instalaciones de separación radioquímica. En general los producidos en reactores son isótopos ricos en neutrones y se desintegran por emisión beta (β^-), que es el resultado de la conversión de un neutrón en un protón, en el interior del núcleo atómico; sus costes de producción son bajos y todas las fuentes intensas (^{60}Co , ^{192}Ir , ^{137}Cs , ^{90}Sr , etc.) y los trazadores de mayor consumo (^3H , ^{14}C , ^{32}P , ^{99}Mo , ^{131}I , etc.) son de esta procedencia. Los segundos son ricos en protones y se desintegran por emisión de positrones (β^+), que convierten protones en neutrones dentro del núcleo; si bien sus costes de producción son más elevados, con los aceleradores se pueden obtener isótopos radiactivos muy empleados en el diagnóstico médico.

LAS RADIACIONES IONIZANTES EN MEDICINA*

La utilización de las radiaciones en medicina supone con mucho la mayor fuente de exposición a las radiaciones de origen artificial. Este es un campo en continua evolución y según los últimos datos del UNSCEAR³, en 2008 el promedio anual de procedimientos médicos con radiaciones ionizantes supera los 3.600 millones, frente a los 2.400 millones que se constataban en el periodo 1991-1996⁴. La mayoría son estudios diagnósticos con rayos X (de ellos, 3.143 millones corresponden a estudios de diagnóstico con rayos X, 480 millones a procedimientos de radiología dental), 32,7 millones en medicina nuclear, y unos 5,1 millones de tratamientos de radioterapia. Si bien el reparto por países es muy desigual debido a las diferencias socioeconómicas, en promedio, por cada 1.000 personas, anualmente se realizan 488 exploraciones de diagnóstico y 74 exámenes dentales.

Los datos de España³ indican que en nuestro país se hacen anualmente 44 millones de exploraciones de rayos X (de ellas, casi 5 millones son radiografías dentales), 810.000 procedimientos diagnósticos de medicina nuclear y unos 82.000 tratamientos de radioterapia.

El uso médico de las radiaciones ionizantes supone un pequeño riesgo que está ampliamente compensado por el beneficio que se obtiene del diagnóstico o del tratamiento. La aceptación social del uso de las radiaciones en medicina es muy amplia, aunque en los últimos años la cultura de la calidad y de la seguridad ha impulsado la elaboración de recomendaciones y normativa específica para la protección radiológica de los pacientes.

MEDICINA NUCLEAR

El término *medicina nuclear* abarca todas las aplicaciones médicas de los isótopos radiactivos, destacando entre ellas las de fines diagnósticos. Para ello, se "marcan" determinados fármacos con radionucleidos y se administran a los pacientes por vía parenteral o endovenosa (en actividades relativamente bajas, del orden de unas centenas de MBq). Una vez metabolizados en el órgano o tejido de interés, se mide la radiación gamma que emiten para formar imágenes planas (gammagrafías) con sistemas detectores llamados gammacámaras, o se hacen reconstrucciones tridimensionales con técnicas de SPECT (*Single Photon Emission Computed Tomography*) o las más modernas técnicas de PET (*Positron Emission Tomograph*). En este último caso se emplean isótopos emisores de positrones, que al aniquilarse con un electrón producirán dos fotones de 511 keV emitidos en la misma dirección

y sentidos opuestos que permiten obtener imágenes con mejor resolución espacial. Los sistemas de formación de imagen para SPECT, y especialmente para PET son más complejos que los utilizados para las gammagrafías y requieren varias gammacámaras que pueden girar alrededor del paciente o anillos de detectores que rodean al paciente.

En medicina nuclear se obtienen imágenes básicamente funcionales y con poca resolución espacial, si bien ya existen técnicas de fusión de imagen (e incluso equipos que permiten obtener de forma simultánea ambos tipos de imágenes) que permiten combinar las imágenes morfológicas (con gran resolución espacial) con las funcionales.

Los radionucleidos que se utilizan para la formación de imágenes en medicina nuclear deben reunir unas características físicas que permitan conseguir el objetivo diagnóstico con la mínima exposición del paciente, de los trabajadores sanitarios, familiares y acompañantes del paciente. Así, deben emitir radiación que atraviese con facilidad los tejidos del cuerpo humano y que sea detectada con eficiencia por los dispositivos que formarán la imagen, lo que normalmente supone utilizar radiación de fotones en el rango de los 100-500 keV. Además deben tener un periodo de semidesintegración adecuado al tiempo de duración de la exploración (algunas horas). El isótopo más utilizado es el ^{99m}Tc aunque también se utilizan el ⁶⁷Ga, ²⁰¹Tl, ¹³¹I, ¹²⁵I, ¹²³I, ¹¹¹In y otros.

Estos procedimientos de diagnóstico que utilizan fuentes radiactivas no encapsuladas requieren instalaciones y personal especializado, ya que se puede producir un cierto nivel de contaminación radiactiva. Los pacientes y sus excretas son, durante un cierto tiempo (hasta que el material radiactivo se haya desintegrado), emisores de radiación ionizante y deben ser gestionados con las debidas precauciones.

Estudios *in vitro*. Radioinmunoanálisis (RIA)

El marcado de moléculas con radioisótopos permite análisis tanto cualitativos como cuantitativos, así como la detección en sangre de hormonas peptídicas, esteroideas, drogas, antígenos tumorales, etc. en cantidades muy pequeñas (10 a 100 millones más sensible que otros métodos). Por ello, tiene campo de aplicación para endocrinología, hematología, oncología, virología, toxicología, farmacología, alergología, etc. Se utilizan emisores beta y gamma de baja y media energía, fundamentalmente ¹²⁵I, ³H, ¹⁴C, ³²P, ⁵⁷Co, etc. con periodos de semidesintegración que pueden ser más largos (días e incluso años) que los de aquellos isótopos usados en las técnicas de diagnóstico *in vivo*.

Radioterapia metabólica

Los isótopos radiactivos se emplean también con fines terapéuticos, mediante la inyección o ingestión de ra-

*Las líneas generales de este apartado se han basado en un trabajo del prof. E. Vaño⁵, adaptado y actualizado en lo necesario.

diofármacos que actúen sobre el órgano diana al seguir la misma vía metabólica que el elemento estable. Así, por ejemplo, se utiliza el ^{131}I para el tratamiento de determinados cánceres de tiroides ya que son capaces de metabolizar activamente este elemento produciendo la destrucción selectiva de las células que lo incorporan. El ^{153}Sm se aplica en la terapia paliativa del dolor óseo por metástasis (cáncer de próstata y de mama). También se está explorando el tratamiento de artritis reumatoide y otras enfermedades osteo-articulares mediante radiosinovectomía con ^{153}Sm , ^{166}Ho , ^{90}Y o ^{186}Re .

RADIODIAGNÓSTICO

En medicina, los rayos X se utilizan básicamente, para el diagnóstico médico y como guía (fluoroscopia) para algunos procedimientos terapéuticos (radiología intervencionista). La radiación electromagnética se emite desde una fuente externa al organismo (un tubo de rayos X). Al atravesar el cuerpo humano, el haz de radiación se absorbe más o menos según los órganos y tejidos atravesados, y al llegar al “detector” (película radiográfica u otros tipos de detectores de radiación) se obtiene una imagen en la que los diferentes contrastes indican la mayor o menor absorción de la radiación. Se obtienen imágenes planas (radiografías) o reconstrucciones tridimensionales a partir de varias imágenes de cortes transversales del volumen explorado (tomografía computarizada, TC).

Con ambas técnicas se puede trabajar en “diferido” (se hace el diagnóstico una vez obtenida la imagen), o en “tiempo real” con equipos de fluoroscopia (las imágenes se visualizan mientras se administra un medio de contraste al paciente por vía digestiva, arterial o venosa).

Radiología digital

Las técnicas digitales para la obtención, procesado, transmisión y almacenamiento de imágenes médicas han tenido un gran impacto en el diagnóstico médico y lo seguirán teniendo en los próximos años. Su introducción ha significado una revolución en la radiología, ya que las imágenes se obtienen con más facilidad y rapidez, se pueden procesar numéricamente, se pueden transmitir por la red, ser almacenadas en formato electrónico y recuperarlas con rapidez.

La introducción de la radiología digital aporta innumerables ventajas para el diagnóstico, pero hace que la protección radiológica del paciente cobre una especial relevancia. Esta tecnología permite que las dosis a los pacientes sean similares e incluso en algunos casos inferiores a las que se imparten con radiología convencional para un nivel comparable de calidad de imagen. En la radiología convencional las dosis a los pacientes que permiten obtener imágenes de calidad razonable quedan restringidas a un margen relativamente estrecho por la sensibilidad de los conjuntos cartulina-película, de manera que un aumento de dosis de radiación

supone una sobreexposición en la imagen (demasiado “negra”) y una disminución de dosis supone una subexposición (demasiado “clara”). Por su lado, los sistemas digitales tienen un rango dinámico mucho más amplio, lo que permite obtener buenas imágenes tanto con dosis más pequeñas como si son bastante mayores que las utilizadas en radiología convencional. Para alcanzar la saturación del sistema es necesario aumentar las dosis significativamente. Por el contrario, bajos niveles de dosis repercuten en la imagen en forma de un aumento del “ruido”, lo que puede conducir a que exista una cierta tendencia a incrementar las dosis voluntariamente buscando imágenes de más calidad.

Radiología intervencionista

En las técnicas intervencionistas se utilizan las imágenes de fluoroscopia (o de TC) en tiempo real, como guía de un procedimiento terapéutico, como por ejemplo el avance de un catéter por una arteria, el inflado de un balón para dar más luz a una arteria con estenosis, la colocación de dispositivos (*stents*) que eviten que las arterias se cierren de nuevo, la embolización de arterias para evitar lesiones por malformaciones arteriovenosas o para hacer que un tumor se necrose por isquemia, etc.

Estos procedimientos están teniendo un aumento espectacular en los últimos años, a pesar de que en ocasiones suponen dosis de radiación elevadas para los pacientes y para los especialistas médicos que las realizan. Los procedimientos intervencionistas sustituyen en ocasiones a la cirugía abierta y pueden ser, a veces, la única alternativa para pacientes que no tolerarían un proceso quirúrgico complejo con su correspondiente anestesia.

Tomografía computarizada

La TC obtiene imágenes de secciones del cuerpo del paciente representando claramente su aspecto incluidos los tejidos blandos. Por tanto, proporciona un rango dinámico más amplio que la radiografía convencional, con una superior discriminación de tejidos. El avance de la tecnología, al combinar el empleo de detectores cada vez de menor tamaño con sistemas informáticos de reconstrucción de imagen muy sofisticados, permite obtener cortes anatómicos muy finos o reconstrucciones tridimensionales de la zona estudiada, de tal manera que se ha convertido en alternativa real a la cirugía exploratoria. Además, permite estancias más reducidas de los pacientes en lo que respecta a la fase preoperatoria. En diversas localizaciones tumorales se ha convertido en una herramienta indispensable y cada vez es mayor su necesidad en la planificación de tratamientos con radioterapia.

Sin embargo, su gran potencia como herramienta para el diagnóstico no debe hacer olvidar que en una exploración de TC el paciente puede recibir una dosis de radiación equivalente a la de cientos de radiografías. Por

ello, su empleo cada vez más frecuente está haciendo que la TC sea la fuente de radiación de origen artificial que mayor incremento ha experimentado en los países desarrollados. Por ejemplo, en los EE. UU. se ha convertido en la fuente artificial de exposición humana más intensa en términos absolutos, suponiendo ella sola el 24% de la dosis colectiva de aquel país⁶, en el que en 2006 se realizaron del orden de 67 millones de exploraciones mediante TC.

LAS RADIACIONES IONIZANTES EN RADIOTERAPIA

Las radiaciones ionizantes se utilizan en radioterapia para tratar tanto procesos de naturaleza benigna (malformaciones vasculares; tumores benignos tales como neurinomas, meningiomas, adenomas, etc; queloides; inhibición de osteoformación, etc.) como maligna (diferentes tipos de cáncer). Se emplean fuentes radiactivas de gran actividad o aceleradores de partículas para producir haces de radiación con los que irradiar los llamados volúmenes “blanco”, habitualmente desde el exterior del paciente (radioterapia externa o teleterapia). Cuando las fuentes radiactivas encapsuladas se introducen en el interior del organismo para irradiar tumores a distancias muy pequeñas se habla de tratamientos de braquiterapia. También, como se vio anteriormente, para algunas enfermedades puede ser eficaz la radioterapia metabólica, en la que se inyectan o ingieren radiofármacos específicos.

En radioterapia externa se usan tanto radiaciones electromagnéticas como corpusculares (sobre todo electrones). En algunos países se han puesto a punto programas de tratamiento mediante partículas cargadas y neutrones. Las partículas cargadas pesadas (protones o iones de C principalmente) permiten impartir directamente una mayor fracción de energía sobre el tejido blanco, afectando menos a los tejidos periféricos. Los neutrones pueden ser absorbidos selectivamente si se emplean fármacos en cuya composición haya absorbentes neutrónicos intensos, como el boro.

El gran reto en radioterapia consiste en administrar la dosis suficiente al tumor maligno para destruirlo (ya que una dosis menor supone en general un tratamiento ineficaz) con dosis de radiación lo más pequeñas posible a los tejidos sanos que están en las proximidades del tumor y protegiendo especialmente los órganos críticos más radiosensibles que, si se irradian, podrían causar efectos especialmente nocivos en el paciente (por ejemplo, dosis altas en recto y vejiga en los tratamientos del cáncer de próstata, etc.). Este reto se resuelve con instalaciones cada vez más sofisticadas, con personal muy bien formado y con procedimientos de control de calidad muy estrictos.

Una vez localizado el volumen a irradiar y los órganos críticos que se deben proteger (todo ello en base a imá-

genes del paciente previamente obtenidas habitualmente con un TC), se procede a la planificación óptima del tratamiento radioterápico utilizando ordenadores y programas de cálculo que permiten evaluar las diferentes opciones en cuanto a dirección, tamaño, y energía de los campos de radiación, duración de las diferentes sesiones, etc. Posteriormente se procede al tratamiento radioterápico propiamente dicho según la planificación establecida, una vez realizadas las oportunas verificaciones con el auxilio de imágenes radiográficas o de TC e inmovilizando al paciente cuando proceda.

En braquiterapia se utilizan las técnicas llamadas de alta tasa de dosis. Una vez hecha la oportuna planificación, se introduce en el paciente (ayudándose en ocasiones de anestesia) una guía o posicionador que permitirá posteriormente, una vez que el operador haya salido de la sala de tratamiento (si se utilizan fuentes gamma), que la fuente radiactiva se traslade de forma automática desde su posición de almacenamiento en un contenedor debidamente blindado, hasta la posición de tratamiento (en el esófago, útero, pulmón, etc.) donde permanecerá el tiempo adecuado para depositar la dosis requerida, regresando después de nuevo a su posición de almacenamiento.

Una técnica que se ha desarrollado durante los últimos años es la braquiterapia intravascular (sobre todo en el terreno coronario, en donde se habla de braquiterapia intracoronaria). Se ha comprobado que se pueden evitar muchos casos de reestenosis (disminución del diámetro de las arterias una vez que se han dilatado con balones u otros dispositivos) irradiando las paredes de las arterias con dosis de radiación entre 20 y 25 Gy. Para ello se utilizan fuentes radiactivas (emisores beta o incluso gamma) de pequeño diámetro que se hacen llegar con catéteres introducidos percutáneamente por vía femoral retrógrada hasta la posición de la lesión, donde permanecen unos pocos minutos hasta administrar la dosis prescrita. En estas técnicas, típicamente multidisciplinares, deben participar especialistas en cardiología, en oncología radioterápica y en radiofísica para conseguir resultados adecuados.

Dadas las altas dosis de radiación que se utilizan en radioterapia, los aspectos de seguridad son de crucial importancia. No se pueden cometer errores, ya que cualquier error puede suponer un accidente de fatales consecuencias. Los operadores de las instalaciones de radioterapia tienen una responsabilidad similar a los pilotos de los aviones: habitualmente no existe la opción de una “segunda oportunidad”.

ESTERILIZACIÓN DE MATERIAL QUIRÚRGICO E IMPLANTES

Basándose en la acción bactericida de la radiación, utilizando elevadas actividades de emisores gamma se pueden esterilizar materiales de uso quirúrgico e im-

plantes, lo cual presenta grandes ventajas frente a la esterilización por calor o mediante productos químicos. La eficacia del método y su competitividad, desde el punto de vista económico, en relación con los métodos tradicionales, ha dado origen a un gran desarrollo de las plantas industriales de irradiación, basadas en el empleo de fuentes encapsuladas generalmente de muy alta actividad (del orden de los PBq) de ^{60}Co o ^{137}Cs . También se emplean aceleradores de partículas, habitualmente electrones, con ese mismo fin.

LAS RADIACIONES IONIZANTES EN LA INDUSTRIA

Dentro del capítulo de aplicaciones industriales hay que destacar su utilización para realizar ensayos no destructivos, para medir y controlar procesos, para estudiar procesos mediante trazadores o para producir materiales de propiedades especiales mediante irradiación.

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Con este fin se emplean equipos de rayos X, fuentes emisoras γ de intensidad moderada, miniaceleradores o incluso fuentes de neutrones con los que producir imágenes al atravesar la radiación el objeto en estudio. Su finalidad suele ser habitualmente la inspección detallada de soldaduras, defectos de fabricación, etc. En algunos sectores industriales esta inspección resulta ser un elemento clave para garantizar la seguridad, por ejemplo: en los empalmes de tuberías en oleoductos o gaseoductos, en la fabricación y montaje de los sistemas de refrigeración de los reactores nucleares, en construcciones de estructuras metálicas, etc. Sin embargo, dado que en muchas de estas aplicaciones se requiere emplear fuentes portátiles, es imprescindible extremar las precauciones en su manejo para garantizar la protección radiológica de los trabajadores y de las personas que puedan encontrarse en las proximidades. Fuera de su aplicación, el control de las fuentes de gammagrafía industrial debe ser muy estricto, debiendo transportarse en sus contenedores de blindaje y extremarse las precauciones desde el punto de vista de la seguridad física.

INSTRUMENTOS MEDIDORES

Se emplean fuentes radiactivas encapsuladas, junto con los detectores apropiados, en muchas aplicaciones en las que resulta necesario determinar niveles, espesores, densidades, etc. Habitualmente esas fuentes forman parte de los sistemas de control automático de diferentes procesos industriales.

Así, la medida y control de nivel mediante el empleo de fuentes de radiación se basa en la absorción o en la retrodispersión de la radiación en la materia. Los proce-

dimientos utilizados son muy variados y vienen caracterizados por las posiciones en que se coloca la fuente radiactiva y el detector. La absorción suele emplearse en el control de llenado de botellas de líquidos, como bebidas. La retrodispersión de la radiación se emplea para medidas de nivel en pozos o depósitos subterráneos. También se emplea en el llenado de botellas de gas, envasado de productos, determinación del nivel de carga en altos hornos, etc. En general, este método es especialmente útil en los casos de líquidos a elevadas temperaturas, líquidos corrosivos, tanques o recipientes a presión y en todos aquellos casos donde sea imposible o indeseable la utilización de dispositivos de contacto.

La técnica de medida de espesores y densidades se basa en que la intensidad o densidad del flujo de radiación que se transmite o refleja, cuando la radiación atraviesa un material, depende de la densidad del aire y espesor de dicho material. Esto se aplica al control de máquinas de laminado de metales, producción de papel, plásticos, llenado de cigarrillos, etc.

Por su parte, para la determinación de la humedad se emplean fuentes de neutrones (como por ejemplo las de $^{241}\text{Am-Be}$) y se basa en la moderación de los neutrones rápidos al chocar con los átomos de hidrógeno del agua. Este método es de muy extendida aplicación en análisis de suelos y en construcción de carreteras.

EMPLEO DE TRAZADORES

Para utilizar radioisótopos como trazadores, estos se deben incorporar a un material para seguir y estudiar el curso o comportamiento de este, mediante la detección de las radiaciones. Para ello se pueden seguir métodos físicos (mezclado) o químicos (formación de moléculas con el isótopo). Las posibilidades de aplicación son prácticamente ilimitadas, empleándose en el estudio del transporte de fluidos –medida de caudales, tiempo de residencia, modelos de circulación, control de transporte en oleoductos, en estudios de desgaste y fricción en componentes y piezas metálicas de máquinas tales como: segmentos de pistones, álabes de turbogeneradores, palieres, estudio del comportamiento de lubricantes, investigación de procesos químicos, permitiendo estudiar la cinética y mecanismos de reacción.

TRATAMIENTO DE MATERIALES

La radiación gamma ioniza la materia y crea radicales libres, que son las especies intermediarias de muchas reacciones químicas. Aplicada la radiación (fuentes de ^{60}Co) a los monómeros con los que se fabrican los plásticos se induce la formación de grandes cadenas poliméricas. Si se continúa la irradiación del material se forman plásticos especiales de alto grado de entrecru-

zamiento catenarío, que mejora considerablemente sus propiedades como aislante térmico y eléctrico. Así, por ejemplo, a partir del polietileno se fabrican tuberías, revestimientos de cables, materiales con “efecto memoria”, elastómeros, piezas para motores de automóvil, etc. O partiendo de la fibra de carburo de silicio se consiguen materiales cerámicos de alta resistencia al calor, como las placas de revestimiento de las lanzaderas espaciales.

OTRAS APLICACIONES

En este grupo se pueden citar varias aplicaciones basadas en la acción ionizante de la radiación, las cuales en general utilizan actividades muy bajas de emisores alfa y beta, tales como la eliminación de electricidad estática, la producción de materiales luminiscentes, los detectores de humo, etc.

La eliminación de la electricidad estática es de utilidad en aquellos casos en los que la acumulación de la misma provoca grandes inconvenientes en los procesos industriales: fabricación textil, de materiales plásticos, de papel, vidrio, etc. Asimismo, es de utilidad en aquellas industrias en las que se utilizan grandes volúmenes de material inflamable y en otras en las que pueden provocarse explosiones por salto de chispa eléctrica. En este caso se utilizan emisores alfa y beta: ^3H , ^{85}Kr , ^{90}Sr y ^{241}Am .

La propiedad de las partículas α y β de producir fenómenos de luminiscencia en algunos materiales se utiliza para producir señales luminiscentes de utilidad para su empleo en aviones, barcos, ferrocarril, etc. Se utilizan isótopos como ^3H , ^{85}Kr , ^{90}Sr y ^{147}Pb , etc.

Para los detectores de humo, se coloca en el interior de una cámara un emisor α o β , que dé lugar a una corriente de ionización constante. La presencia de humo en la cámara atenúa la radiación y provoca una disminución de la corriente de ionización, que se puede detectar con un aparato de medida adecuado. La fuente radiactiva más utilizada es ^{241}Am .

SEGURIDAD FÍSICA

La aplicación de las radiaciones ionizantes como medio de inspección para prevenir actividades ilegales está muy extendida en todo el mundo. Habitualmente se utilizan equipos de rayos X para inspección de bultos o equipajes como medida de seguridad frente a la introducción de armas o explosivos en edificios públicos, aviones, trenes, etc. Esos equipos se basan en la transmisión de la radiación. También en algunos países se han venido usando sistemas de rayos X convencionales aplicados a la inspección de personas, por ejemplo en algunas minas de diamantes para radiografiar a los trabajadores a su salida del trabajo

con el propósito de impedir que oculten diamantes en sus cavidades corporales, y en algunas cárceles se radiografían a los presos y a sus visitantes para detectar armas ocultas.

Recientemente se está iniciando en varios países la implantación de equipos para inspección de personas basados en la retrodispersión de rayos X. Esos equipos emiten un haz muy estrecho de rayos X en forma de puntero que se dirige hacia la persona a inspeccionar, realizando un barrido sobre toda la superficie del cuerpo de la misma; para una adecuada inspección, es necesario escanear las partes delantera y posterior del cuerpo. Los detectores de radiación se colocan junto a la fuente emisora de rayos X, para recoger la radiación retrodispersada y formar la imagen a partir de ella. Con este sistema se pueden detectar objetos metálicos y no metálicos ocultos bajo la ropa, incluyendo pistolas, cuchillos, explosivos, drogas y armas fabricadas en plástico y cerámica, que se hacen visibles en la imagen de retrodispersión de rayos X porque poseen diferente composición atómica que el cuerpo. Los objetos ligeros se observan en la imagen más brillantes que los tejidos del cuerpo; por el contrario, los objetos pesados, como los metales, aparecen más oscuros que aquellos. La dosis de radiación que la persona recibiría en un escáner de este tipo en funcionamiento normal es variable desde un mínimo de aproximadamente 0,03 microsieverts por escáner.

Para inspeccionar cargamentos hay varios sistemas⁷, según se trate de camiones o coches, contenedores marítimos o vagones de tren. El haz de radiación puede ser producido por un radionucleido, como ^{137}Cs o ^{60}Co , o un generador de rayos X de alta energía, de 100 a 450 kV. Cada vez se usan más los aceleradores lineales con energías de 6 a 15 MeV, que pueden penetrar varios centímetros de acero y visualizar el contenido de cualquier contenedor. También se emplean haces de neutrones generados por un acelerador o una fuente de ^{252}Cf . La ventaja de los neutrones es que tienen la penetración necesaria e interactúan con la materia de una manera complementaria a los rayos X y pueden usarse para determinar la composición elemental de los productos en el interior de los contenedores.

PROSPECCIÓN ENERGÉTICA Y MINERA

Las sondas radiactivas se emplean como complemento para determinar las características de las rocas en sondeos de prospección geológica y testificación geofísica. Se pueden emplear sondas radiactivas basadas en la medida de los rayos gamma emitidos por los radionucleidos naturales (perfiles radiométricos), sondas de densidad que utilicen fuentes gamma y sondas neutrónicas que sirven para determinar la cantidad de agua existente en el terreno. Si este se encuentra satu-

rado, los registros de neutrones proporcionan una medida directa de su porosidad.

También se emplean trazadores radiactivos para el estudio de yacimientos petrolíferos y geotérmicos mediante inyección de los mismos. Por ejemplo, mediante la inyección y detección de un pulso de trazador (generalmente tritio) en un campo petrolífero se pueden deducir propiedades como su tamaño.

Durante el movimiento de materiales a granel mediante cintas transportadoras o de cangilones se puede medir la cantidad transportada empleando sondas gamma y su contenido de humedad, con sondas neutrónicas. Posteriormente, en el laboratorio, se emplean técnicas diversas para el análisis preciso de muestras.

APLICACIONES MEDIOAMBIENTALES

En el campo medioambiental, el empleo de trazadores radiactivos en cantidades muy pequeñas permite hacer un seguimiento de la distribución y comportamiento de los contaminantes en el medio ambiente. Además, la presencia global de algunos radionucleidos de origen artificial (^{137}Cs y otros liberados durante las pruebas atómicas en la atmósfera hasta 1964) ha permitido caracterizar el funcionamiento de muchos ecosistemas, dando impulso a la radioecología como ciencia.

En hidrología, las técnicas isotópicas –con isótopos naturales, como el ^3H o el ^{14}C , o artificiales como el ^{131}I –, ayudan al estudio y conservación de los recursos hídricos. Por ejemplo, para conocer la dinámica de lagos y embalses, filtración de represas, descargas de ríos, sedimentación y transporte de sedimentos. O el origen, edad, distribución, mecanismos de recarga de acuíferos, interconexiones entre ellos, etc. en el ámbito de las aguas subterráneas.

También se están empleando fuentes intensas de radiación, fundamentalmente aceleradores, en plantas de tratamiento de aguas residuales, para su esterilización, o en centrales térmicas de carbón, para reducir la emisión de contaminantes al formar radicales libres por ionización y provocar luego su recombinación en compuestos no contaminantes.

APLICACIONES AGROALIMENTARIAS⁸

Los isótopos y las radiaciones desempeñan un papel importante en la agricultura moderna. Ya en 1964 la FAO y el OIEA establecieron una comisión mixta para el empleo de isótopos y radiaciones en el desarrollo de la agricultura y la alimentación⁹, dentro de la cual se mantiene una incesante actividad en diversas áreas.

ERRADICACIÓN DE PLAGAS

La técnica de esterilización de insectos mediante irradiación puede ser útil en situaciones en las que estos han adquirido resistencia a los insecticidas químicos. La técnica consiste en exponer insectos machos criados en laboratorio, en una fase apropiada de su desarrollo, a dosis de radiación ionizante suficientes para esterilizarlos. Los machos se aparean con las hembras, pero sin producir descendencia. Tras repetidas liberaciones de machos esterilizados se reduce notablemente la plaga de insectos en un área determinada. Mediante esta técnica se han dominado plagas de insectos en países tropicales, tales como la mosca mediterránea de la fruta, la mosca del gusano barrenador del Nuevo Mundo, la mosca *tsé-tsé* o el mosquito de la malaria (*Anopheles*).

Para tener éxito deben realizarse, como primera medida, estudios ecológicos muy detallados. Deberá evaluarse el número aproximado de insectos, sus movimientos, hábitos, gama y distribución. Los estudios pueden durar meses, ya que es necesario marcar los insectos (normalmente mediante radisótopos como el ^{32}P o el ^{59}Fe) y atraparlos nuevamente.

ESTUDIOS DE FERTILIDAD DEL SUELO MEDIANTE TRAZADORES

Se emplean trazadores en el estudio de la fertilidad del suelo, optimizando la irrigación y el aprovechamiento de los abonos. Marcando los abonos con isótopos, tales como el ^{32}P ó el ^{15}N , se puede determinar la cantidad de abono que absorbe la planta y la que se pierde en el medio ambiente.

MEJORAS GENÉTICAS

Existen dos métodos principales para inducir artificialmente mutaciones en los cultivos: el empleo de agentes químicos y las técnicas de irradiación, siendo estas últimas más eficaces en ciertos genes vegetales, como los de algunos frutales. Mediante la mutación genética se pueden mejorar las siguientes propiedades: resistencia al encamado, adelanto o retraso de la maduración para evitar periodos de sequías, heladas o plagas, mejora de las características de las semillas (en particular su valor nutritivo), aumento de la resistencia a las enfermedades de los cultivos, mejora de las características agronómicas frente al frío o el calor o las condiciones adversas del suelo, mejora del rendimiento, con experiencias en alrededor de un centenar de variedades de cultivo en proporciones entre el 3% y el 10%, que en algunos casos han llegado hasta el 45%.

ZOOTECNIA Y PRODUCCIÓN ANIMAL

Los radioisótopos pueden desempeñar un papel importante en la estimación de las cantidades óptimas de alimentos y de agua que debe recibir el ganado. Asimismo,

mo, con el empleo de técnicas de radiación ionizante se han podido combatir algunas enfermedades corrientes. También se vienen utilizando modernas técnicas de radioinmunoanálisis para controlar las hormonas que determinan el régimen reproductivo del animal.

IRRADIACIÓN DE ALIMENTOS PARA SU CONSERVACIÓN

Las grandes pérdidas de alimentos recolectados que tienen lugar anualmente en el mundo se deben, fundamentalmente, a que los productos alimentarios están infestados por insectos, gorgojos, hongos, etc., que producen su destrucción o putrefacción. Por otro lado, la carga patógena portada por los alimentos es la causa de múltiples infecciones entéricas. Todas estas pérdidas e intoxicaciones pueden paliarse mediante la irradiación de los alimentos dentro de un intervalo de dosis que sea suficiente para conseguir el efecto deseado (reducción de la carga microbiana), sin que dé lugar a la alteración de los caracteres organolépticos de los mismos. Dicha técnica está reconocida por organismos como la FAO, OMS y OIEA¹⁰.

La irradiación consiste en exponer los alimentos –envasados o a granel– a rayos gamma (habitualmente fuentes muy intensas de ⁶⁰Co o ¹³⁷Cs), rayos X o electrones durante un tiempo determinado. Procediendo de este modo, y para dosis inferiores a 10 kilograys, se ha comprobado reiteradamente que los alimentos son inocuos y tienen una mayor vida útil. Es importante señalar que la exposición de los alimentos a estas fuentes de radiación no induce radiactividad en los mismos, ni siquiera cuando se aplican dosis de radiación cien o mil veces más elevadas que la dosis necesaria para el tratamiento de los alimentos.

APLICACIONES DE LOS RADISÓTOPOS EN INVESTIGACIÓN

Las estructuras moleculares cristalinas pueden comportarse como redes de difracción de los rayos X, la luz sincrotrón o los neutrones fríos, por lo que el estudio de los diagramas de difracción de las sustancias puede informar acerca de sus estructuras cristalinas, así como de las disposiciones moleculares subyacentes. Así, se descubrieron las estructuras de moléculas complejas, como el propio ADN, o de las proteínas. También se usan para determinar los estados de tensiones internas en los materiales por la deformación que estas producen en la estructura cristalina.

Por su lado, los radioisótopos constituyen la herramienta por excelencia en todas las ocasiones en que sea necesario marcar una molécula cuyo destino final se tenga interés en conocer, sea en procesos físicos, químicos o biológicos. El empleo de los trazadores ha supuesto una gran revolución en el conocimiento del

medio ambiente, la fisiología humana, la biología celular y molecular y, en general, en todas las ciencias de la naturaleza.

Otra técnica analítica de gran potencial es la activación neutrónica, con la que se pueden detectar trazas de numerosos elementos químicos en las muestras analizadas. Se aplica con gran éxito en la investigación en agricultura, arqueología, ingeniería, geología, medicina, oceanografía, investigación forense y criminal, etc. Para aplicarla se necesitan fuentes intensas de neutrones, principalmente reactores experimentales; cuando un material se introduce en un campo de neutrones se producen reacciones de activación, que dejan a los núcleos en estado excitado; si el radioisótopo producido decae por emisión de fotones gamma, estos se pueden utilizar para identificar los componentes elementales del material.

En el estudio y conservación del patrimonio histórico y artístico, mediante radiografía o neutrografía se dispone de un método no destructivo insustituible de investigación de obras pictóricas, esculturas y objetos delicados (por ejemplo, las momias egipcias). La radioesterilización permite también luchar contra el deterioro de instrumentos musicales, pinturas, libros y documentos antiguos por causa de los agentes destructivos como hongos o larvas de insectos.

También se emplea mucho la técnica de datación de restos arqueológicos o paleontológicos mediante isótopos naturales. Entre los que destaca el ¹⁴C. El ¹⁴C, con un periodo de semidesintegración de 5.730 años, se forma en la atmósfera por acción de los rayos cósmicos y se integra en el ciclo global del carbono. Al morir, los seres vivos dejan de intercambiar carbono con el exterior, y el ¹⁴C en su interior se desintegra. La proporción existente de ¹⁴C al cabo del tiempo permite la datación. Por su parte, el ⁴⁰K (periodo 1.250 millones de años) permite la datación de minerales.

Por último, no podemos olvidar la investigación del espacio, ya que las sondas espaciales de gran alcance, con las que cada vez conocemos mejor el sistema solar, son capaces de recorrer esas distancias y mantener la comunicación con la Tierra gracias a los generadores de energía isotópicos (termoiónicos de ²³⁸Pu o ⁹⁰Sr) o nucleares (minireactores).

ENERGÍA NUCLEAR

Las múltiples aplicaciones pacíficas de la energía nuclear, en especial su utilización para la producción de energía eléctrica, también forman parte de nuestra vida cotidiana. A pesar de sus indudables beneficios, la sociedad, a todos sus niveles, muestra una preocupación inquisitiva por la seguridad de las centrales nucleares y de todas las actividades que guarden relación

con el uso de sustancias radiactivas. Si bien se reconoce que la energía nuclear entraña peligro, porque implica la generación y manipulación de productos radiactivos tóxicos, también hay que reconocer que una actividad peligrosa no tiene por qué ser insegura si se incorporan las medidas técnicas y administrativas adecuadas. En esto, la energía nuclear no es distinta de otras actividades peligrosas que la sociedad admite y utiliza, como el gas doméstico, la electricidad o el transporte.

En ese sentido, para conseguir una protección adecuada en el uso de la energía nuclear, con sus propiedades tecnológicas bien diferenciadas de otras aplicaciones de la radiación, es necesario establecer medidas técnicas y administrativas que garanticen la seguridad a fondo, y que constituyan el cuerpo de lo que se conoce como seguridad nuclear. Desde el punto de vista de la seguridad, el objetivo fundamental en el diseño de una central nuclear es asegurar que se mantienen confinados los productos radiactivos y las radiaciones que estos emiten, controlando escrupulosamente las cantidades vertidas al medio ambiente para mantenerlas dentro de lo aceptable.

La emisión de radiación al exterior se controla mediante la interposición de *blindajes* con el espesor suficiente para absorberla. Constituyen un buen blindaje el agua del reactor y de las piscinas donde se almacena el combustible gastado, el acero de los circuitos y contenedores de transporte para el combustible y el hormigón de los muros de los edificios, cuyo espesor se determina para que el nivel de radiación en el exterior sea completamente inocuo.

Para aislarlos del medio exterior, y por tanto evitar los daños que podrían causar, los productos radiactivos acumulados en las centrales nucleares se encierran en barreras, cuya integridad física, bajo cualquier circunstancia concebible, constituye el principal obje-

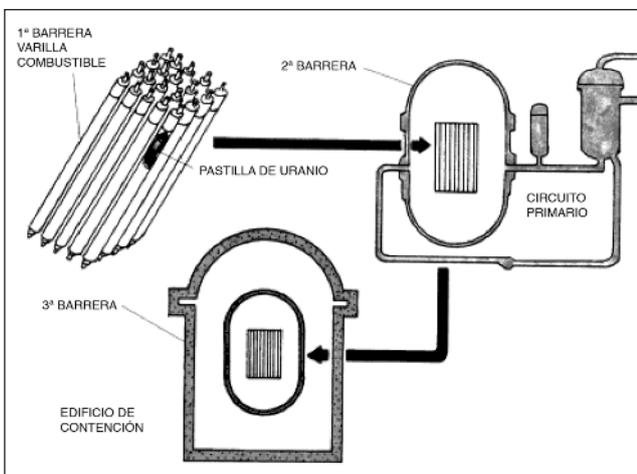


FIGURA 4. Ilustración del concepto de aislamiento de los productos radiactivos de las centrales nucleares mediante barreras múltiples.

vo de los diseños. En general, las *barreras de contención* son tres (Figura 4): las propias pastillas de combustible y las varillas donde se alojan, el circuito primario de refrigeración (barrera de presión) y la barrera de contención, como tercera barrera y última frente a los impactos que se tendrían que resistir en caso de accidente.

IMPACTO RADIOLÓGICO DE LAS FUENTES ARTIFICIALES DE RADIACIÓN IONIZANTE

A pesar de la multitud de aplicaciones que las radiaciones ionizantes tienen en el mundo contemporáneo, su impacto en términos de dosis es muy reducido, salvo en las exposiciones como pacientes. Las evaluaciones del UNSCEAR³ se resumen y comparan con las referidas a las fuentes naturales de radiación en la figura 5. En ellas se registra una cifra muy pequeña para el impacto sobre el público del uso de la energía nuclear, variable entre 0,0002 y 0,02 mSv/año^{**}. La lluvia radiactiva producida por los ensayos de armamento nuclear en la atmósfera durante los años 50 y 60 o el accidente de Chernóbil también suponen todavía una pequeña exposición de la población de todo el planeta, cifrada actualmente en

** Como comparación, un estudio muy reciente y detallado del Consejo de Seguridad Nuclear¹¹ para nuestro país indica que en el periodo 1975-2003, la población más expuesta de las zonas nucleares no superó 350 mSv en total (0,0125 mSv/año en promedio).

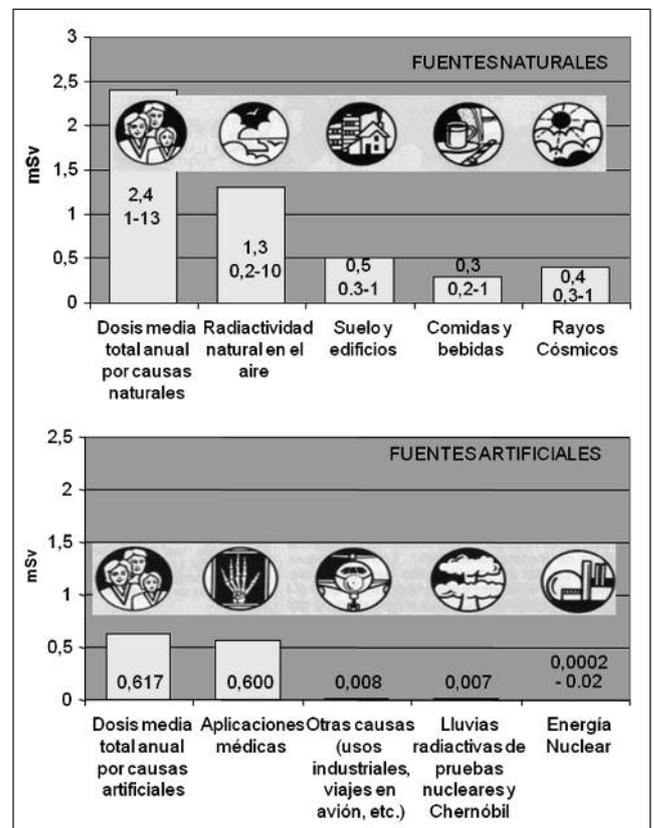


FIGURA 5. Contribución de las diferentes fuentes de radiación naturales y artificiales a la dosis media total anual recibida por la población mundial³.

unos pocos microsievverts al año (0,007 mSv). Por su parte, el conjunto de las demás fuentes de uso industrial, unido al incremento de dosis por la radiación cósmica recibida al viajar en avión, suponen 0,008 mSv/año en el promedio mundial. Frente a ello, las exposiciones médicas suponen 0,6 mSv/año como promedio.

LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA Y SUS PRINCIPIOS BÁSICOS

Conociendo los efectos que la radiación es capaz de producir sobre el ser humano, y por ende en el resto de seres vivos, es evidente la necesidad de controlar las actividades que impliquen el manejo o producción de sustancias radiactivas. Desde 1928 existe un organismo internacional de reconocido prestigio –la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP)–, que se preocupa de emitir una serie de recomendaciones^{12,13}, basadas en los más recientes conocimientos científicos sobre los efectos de la radiación, para orientar a las autoridades encargadas en cada país de la regulación y control en materia de seguridad nuclear y protección radiológica. Sus recomendaciones se debaten y adaptan en forma de normativa por los organismos internacionales relevantes, incluida la Unión Europea, por lo que acaban incorporándose a la legislación española, siendo la norma principal en nuestro país el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes¹⁴.

La protección radiológica tiene un *doble objetivo fundamental*: evitar la aparición de los efectos deterministas sobre la salud (observables al poco tiempo de producirse la exposición a las radiaciones, y precisando de una dosis superior a los umbrales característicos de cada órgano o tejido) y limitar la probabilidad de incidencia de los efectos probabilistas (cánceres y defectos hereditarios que pudieran manifestarse incluso después de muchos años) hasta valores que se consideran aceptables. Pero, por otra parte, sin limitar indebidamente las prácticas que, dando lugar a exposición a las radiaciones, suponen un beneficio para la sociedad o sus individuos.

A los efectos de la protección radiológica se definen las *situaciones planificadas* como aquellas que pueden incrementar la exposición humana por introducir nuevas fuentes de radiación, vías de exposición o individuos expuestos, o por modificar las relaciones entre las fuentes ya existentes y el hombre. Para conseguir lograr el objetivo fundamental de la protección radiológica se establecen tres principios básicos¹²:

- a) **Justificación**: Cualquier decisión que altere las condiciones de exposición debe producir el suficiente beneficio a los individuos expuestos o a la sociedad como para compensar el detrimento por causa de la exposición a la radiación.
- b) **Optimización de la protección**: Para cualquier fuente de radiación, la magnitud de las dosis individua-

les, el número de personas expuestas, y la probabilidad de verse expuestas, deben mantenerse tan bajas como sea razonablemente posible, teniendo en cuenta consideraciones sociales y económicas (ALARA, *As Low As Reasonably Achievable*).

- c) **Limitación de dosis y riesgos individuales**: En las situaciones de exposición planificada, la dosis total a cualquier individuo por el conjunto de fuentes susceptibles de control que le afecten, excepción hecha de su exposición como paciente, no deben superar los límites apropiados.

La justificación de una situación de exposición ha de analizarse teniendo en cuenta las ventajas e inconvenientes asociados a la introducción de la misma, estableciendo un balance adecuado entre ambos. Puesto que en la realidad hay componentes de beneficios y costes difícilmente cuantificables o de evaluación subjetiva, siempre es posible la comparación de diferentes alternativas. En todo caso, para cada práctica (por ejemplo, la generación de energía eléctrica) debe considerarse la suma de todos los procesos asociados a la misma, incluyendo explícitamente la generación y gestión de los residuos generados.

Una vez justificada una práctica, ha de procederse a su optimización. Puesto que se admite que toda dosis de radiación implica un riesgo no nulo, no es suficiente con cumplir los límites de dosis –que en todo caso limitan la región de lo inaceptable–, sino que han de reducirse las dosis hasta encontrar un valor óptimo que maximice el beneficio neto total, para lo cual, mediante técnicas apropiadas se puede comparar el esfuerzo necesario para aminorar las dosis frente a la reducción del detrimento sanitario obtenida.

Los límites que se aplican a las exposiciones debidas a situaciones planificadas, exceptuando la exposición al fondo radiactivo natural y la exposición médica, se recogen en la tabla 3, que incluye los límites de dosis aplicables a la exposición recibida en el trabajo o como consecuencia de él, incluyendo la producida en el trabajo a consecuencia de las fuentes naturales, cuando supere considerablemente los niveles ambientales en el entorno. También se muestran los límites establecidos para acotar la exposición de la población en general. Para cada instalación o fuente concreta han de aplicarse límites restringidos, que eviten con razonable prudencia la superación de estos límites por cualquier individuo, tomando como referencia aquellos que puedan estar más expuestos y que sirvan como confín superior de las dosis individuales admisibles en la optimización de dicha fuente (*restricciones de dosis*).

INFRAESTRUCTURA DE SEGURIDAD Y PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Para la correcta aplicación práctica de la protección radiológica es necesario que la sociedad se dote de una

TABLA 3. Límites de dosis para los trabajadores profesionalmente expuestos a radiaciones ionizantes y para los miembros del público¹⁴

TRABAJADORES PROFESIONALMENTE EXPUESTOS	
Tipo de exposición	Límites para la dosis anual
Dosis efectiva (suma de la dosis por exposición externa y la dosis comprometida a 50 años por incorporaciones durante el periodo)	100 mSv en 5 años (20 mSv promedio anual)
Cristalino	50 mSv máximo anual
Piel, manos, antebrazos, tobillos	150 mSv
Mujeres gestantes (dosis al feto)	500 mSv
	1 mSv total
MIEMBROS DEL PÚBLICO	
Tipo de exposición	Límites para la dosis anual
Dosis efectiva	1 mSv
Cristalino	15 mSv
Piel	50 mSv

serie de medios, coordinados por un organismo regulador responsable, que en el caso de España es el Consejo de Seguridad Nuclear. Entre otros elementos cabe citar el sistema de licenciamiento y autorización de todas las prácticas que conlleven exposición a radiaciones ionizantes, la inspección y control del funcionamiento de las prácticas por parte del organismo regulador, el control de las fuentes y materiales radiactivos, la protección de los trabajadores, de los pacientes, el personal profesionalmente expuesto, el público y el medio ambiente, así como la gestión de los residuos radiactivos. En nuestro país, la mayor parte de esos elementos se recogen en el Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas¹⁵.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

A modo de resumen de lo presentado se puede afirmar lo siguiente:

- El principal efecto causado en la materia por las radiaciones emitidas por las sustancias radiactivas es la ionización.
- El entorno humano presenta niveles significativos de radiaciones ionizantes de forma natural.
- Las radiaciones ionizantes y la radiactividad se emplean de forma insustituible en múltiples campos, habiendo proporcionado grandes beneficios a la humanidad en terrenos como la medicina, las aplicaciones industriales, la seguridad, la minería y la prospección energética, aplicaciones agroalimentarias, el estudio del medio ambiente y la lucha contra la contaminación, la investigación en biología, arte, etc.
- La energía nuclear requiere disponer de barreras de aislamiento para los productos radiactivos que acumulan el combustible nuclear y los residuos generados, así como de sistemas de específicos de seguridad frente a accidentes.

- El uso de la tecnología nuclear en distintos campos supone, en promedio, un modesto incremento de los niveles naturales de radiaciones ionizantes.
- El objetivo principal del sistema de protección radiológica es asegurar que no se adopte ninguna exposición planificada a menos que su introducción produzca un beneficio neto y positivo, que todas las exposiciones necesarias se mantengan tan bajas como sea razonablemente posible, teniendo en cuenta los factores económicos y sociales, y que las dosis recibidas por los individuos no excedan ciertos límites establecidos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Real Decreto 2032/2009, de 30 de diciembre, por el que se establecen las unidades legales de medida. BOE núm. 18, de 21 de enero.
2. Luque S, et al, Programas de vigilancia radiológica ambiental. Resultados 2007. Colección. Informes Técnicos 21.2008. Consejo de Seguridad Nuclear. Madrid, 2008.
3. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Sources and Effects of Ionising Radiation, UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. New York: United Nations; 2010. Disponible en: http://www.unscear.org/docs/reports/2008/09-86753_Report_2008_GA_Report.pdf.
4. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Sources and Effects of Ionising Radiation, UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. New York: United Nations; 2000. Disponible en: <http://www.unscear.org/docs/reports/gareport.pdf>
5. Vañó E. La utilización de los isótopos radiactivos y las radiaciones ionizantes en medicina. Actas de la jornada Las radiaciones ionizantes y nuestros genes. Zaragoza: Fundación Genes y Gentes; 2003. Disponible en: <http://www.fundaciongenesygentes.es>.
6. National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP). Ionizing Radiation Exposure of the Po-

- pulation of the United States. NCRP Report No. 160 Bethesda; 2009.
7. Borrás C. La necesidad de reglamentar el uso de los sistemas de inspección personal y de carga que utilizan radiaciones ionizantes. Madrid: Sociedad Española de Protección Radiológica; 2010.
 8. Baró, J. y otros. Origen y gestión de residuos radiactivos. Madrid: Ilustre Colegio Oficial de Físicos. 3ª edición; 2000.
 9. Joint FAO/IAEA Programme. Dosimetry for Food Irradiation. Technical Report Series No. 409 SIT/DOC/010/409, Vienna: IAEA; 2002.
 10. Facts about Food Irradiation A series of Fact Sheets from the International Consultative Group on Food Irradiation (ICGFI); 2000. Disponible en <http://www.iaea.org/nafa/d5/public/foodirradiation.pdf>
 11. Consejo de Seguridad Nuclear e Instituto de Salud Carlos III. Estudio epidemiológico del posible efecto de las radiaciones ionizantes derivadas del funcionamiento de las instalaciones nucleares y radiactivas del ciclo de combustible nuclear españolas sobre la salud de la población que reside en su proximidad. Madrid; 2010. Disponible en: http://www.csn.es/images/stories/publicaciones/novedades/3_informe_final.pdf.
 12. International Commission on Radiological Protection (ICRP). 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60, Pergamon Press, Oxford (1991) [Traducción al español por la Sociedad Española de Protección Radiológica. Madrid; 1995].
 13. International Commission on Radiological Protection (ICRP). 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection ICRP Publication 103 (Users Edition). Annals of the ICRP 2007:37:2-4, [Traducción al español por la Sociedad Española de Protección Radiológica. Madrid; 2008].
 14. Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes. BOE núm. 178. de 26 julio 2001.
 15. Real Decreto 1836/1999, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas. BOE núm. 313. de 31 diciembre 1999).

EL SISTEMA DE VIGILANCA RADIOLÓGICA AMBIENTAL EN ESPAÑA

THE ENVIRONMENTAL RADIATION MONITORING SYSTEM IN SPAIN

Rosario Salas Collantes y Carmen Rey del Castillo

Consejo de Seguridad Nuclear

RESUMEN

El sistema de vigilancia radiológica del medio ambiente establecido en España está constituido por varias redes con diferentes objetivos: una red de vigilancia en el entorno de las instalaciones y varias redes de ámbito nacional financiadas y gestionadas por organismos públicos.

Los titulares de las instalaciones son los responsables de la realización de sus programas de vigilancia radiológica ambiental siguiendo las directrices del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN).

Por otra parte, la Dirección General de Protección Civil y Emergencias dispone de una red de alerta a la radiactividad (RAR) constituida por más de 900 estaciones automáticas de medida de tasa de dosis distribuidas por el territorio nacional.

La Red de Vigilancia Radiológica Ambiental (Revira), gestionada por el CSN, de ámbito nacional, consta de una red de estaciones de muestreo (REM) y una red de estaciones automáticas de medida en continuo (REA). Las comunidades autónomas de Valencia, Cataluña, Extremadura y País Vasco disponen de sus propias redes automáticas similares a la del CSN. Revira proporciona información radiológica sobre la radiactividad de la atmósfera, del suelo, de las aguas (potables, continentales y marinas) y de los alimentos. Los programas de muestreo y análisis radiológico se adaptan a las recomendaciones que establece la Comisión de la Unión Europea. La REM cuenta con la colaboración de laboratorios de universidades y con el Centro de Investigaciones Energéticas, Medio Ambientales y Tecnológicas (CIEMAT) para su ejecución. La vigilancia de las aguas continentales y costeras la realiza el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas del Ministerio de Fomento (CEDEX).

PALABRAS CLAVE: vigilancia radiológica ambiental; red de vigilancia.

INTRODUCCIÓN

La principal fuente de exposición de la población a las radiaciones ionizantes es la radiación de origen natural, debida fundamentalmente a los elementos radiactivos que existen en los elementos básicos de nuestro medio ambiente (suelo, aire, agua) y a las ra-

ABSTRACT

The system of environmental radiation monitoring established in Spain is composed of several networks with different objectives, a monitoring network in the vicinity of the facilities and several national networks financed and managed by public agencies.

The operators of the facilities are responsible for the conduct of its Environmental Radiological Surveillance Program as directed by the CSN.

Moreover, the Directorate General of Civil Defense and Emergencies has a Radioactivity Warning Network (RAR) consisting of over 900 automatic stations measuring dose rate distributed nationwide.

The Environmental Radioactivity Monitoring Network (Revira), managed by the CSN, is a nationwide network, consists of a Network of Sampling Stations (REM) and a Network of Automatic Stations for continuous monitoring (REA). The autonomous communities of Valencia, Catalonia, Extremadura and the Basque Country have their own automated networks similar to that of the CSN. Revira provides information on the radioactivity in the air, soil, water (drinking, inland and sea) and of food. The sampling and analysis programs are tailored to radiological recommendations laid down in the European Union Commission. The REM has the collaboration of laboratories in universities and the Centre for Energy, Environmental and Technological Research (CIEMAT) for execution. The monitoring of inland and coastal waters is undertaken by the Centre for Studies and Experimentation of Public Works, Ministry of Public Works (CEDEX).

KEY WORDS: environmental radiation monitoring; surveillance network.

daciones que provienen del espacio exterior. El conjunto de las radiaciones exteriores y del material radiactivo presente en la biosfera, en concentraciones variables de un lugar a otro, constituye el fondo radiactivo natural y su cuantificación es, y ha sido, objeto de numerosos programas de investigación en todo el mundo.

Por otro lado, las explosiones de armas atómicas en la atmósfera y algunos accidentes en instalaciones que manejan materiales radiactivos han contribuido también a introducir elementos radiactivos en el medio ambiente; las primeras, de un modo global por toda la biosfera, los segundos, principalmente, de modo local. Otras actividades humanas, como las aplicaciones de isótopos radiactivos en medicina, agricultura, industria e investigación, la producción de energía eléctrica a partir de energía nuclear, los residuos que se originan en los grandes movimientos de tierras para la explotación de yacimientos de minerales de uranio y torio, la minería de sales de potasio, la explotación de rocas fosfóricas, etc., contribuyen también de algún modo a incrementar la presencia de elementos radiactivos en el medio ambiente, en especial en las zonas bajo su influencia.

De esta situación surge la necesidad de realizar una vigilancia radiológica ambiental que permita detectar la presencia y vigilar la evolución de elementos radiactivos y niveles de radiación en el medio ambiente, determinando las causas de los posibles incrementos, así como estimar el riesgo radiológico potencial para la población y la necesidad de tomar, si conviene, alguna precaución o establecer alguna medida correctora.

EL SISTEMA DE VIGILANCIA RADIOLÓGICA AMBIENTAL

Entre las funciones asignadas al Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) en su ley de creación están, entre otras, las de evaluar el impacto radiológico ambiental de las instalaciones nucleares y radiactivas y controlar y vigilar la calidad radiológica del medio ambiente en todo el territorio nacional, en cumplimiento de las obligaciones internacionales del Estado español en la materia, y sin perjuicio de la competencia que las distintas Administraciones públicas tengan atribuidas. De igual modo, colaborar con las autoridades competentes en materia de vigilancia radiológica ambiental fuera de las zonas de influencia de las instalaciones nucleares y radiactivas.

Por otra parte, los artículos 35 y 36 del Tratado constitutivo de la Comunidad Europea de la Energía Atómica (EURATOM) establecen que cada Estado miembro debe crear las instalaciones necesarias para controlar de modo permanente el índice de radiactividad de la atmósfera, de las aguas y del suelo y comunicar regularmente la información relativa a estos controles a la Comisión.

El sistema de vigilancia radiológica ambiental establecido actualmente en todo el país satisface estos compromisos. Está integrado por varias redes con diferentes objetivos que condicionan sus características.

En el caso de actividades sometidas a autorizaciones administrativas, la concesión de esta autorización lleva

consigo, en función del tipo de instalación, la realización de un programa de vigilancia radiológica ambiental en el exterior de la instalación, adecuado a la etapa de vida de la instalación y a la zona de su entorno. Estos programas implantados por los titulares constituyen la red de vigilancia en el entorno de las instalaciones. Son programas locales en cuanto a su alcance espacial, pero muy extensos en cuanto al número de muestras recogidas y análisis realizados para cumplir sus objetivos.

Por otra parte, existen otras redes de vigilancia de carácter nacional o limitadas a un determinado territorio gestionadas y financiadas por organismos públicos. Hay una serie de redes automáticas de vigilancia en continuo, establecidas fundamentalmente para detectar accidentes nucleares, de mayor o menor complejidad en cuanto a tipos de medida realizada y otra red de alcance nacional en la que se recogen muestras que se analizan posteriormente en laboratorios de medida de niveles bajos de radiactividad. A continuación se describen las diferentes redes y sus programas de vigilancia.

a) Vigilancia de ámbito nacional y/o gestionada por organismos públicos

Esta vigilancia tiene por objetivo el control permanentemente de la calidad radiológica del medio ambiente. Se realiza, por una parte, mediante redes de estaciones automáticas que tienen como objetivo principal vigilar permanentemente la calidad radiológica de la atmósfera para evaluar las consecuencias derivadas de un posible accidente nuclear. La importancia del control de esta vía de exposición se basa en que la actividad emitida a la atmósfera se transporta rápidamente. Las personas pueden resultar contaminadas de modo directo por inhalación o, indirectamente, por deposición e incorporación de los radionucleidos depositados a la cadena alimentaria. Por lo tanto, la vigilancia del aire es de particular importancia para poder detectar la contaminación tan pronto como sea posible. Las redes de medida de radiación no discriminan entre la actividad que proviene del aire y la depositada en el terreno. Por lo tanto, son preferibles los instrumentos para la medida en continuo de aerosoles, aunque tienen el inconveniente de un coste de mantenimiento más elevado.

Por otro lado, para vigilar la calidad radiológica del medio ambiente en situación normal se necesitan medidas con niveles de detección menores, ya que los valores de radiactividad ambiental son bajos. Para ello se recogen muestras en las principales vías de transferencia de radionucleidos en aquellos elementos de los ecosistemas que pueden contribuir a la exposición de las personas a las radiaciones y se analizan en laboratorios para poder detectar valores bajos de actividad.

Red de Alerta a la Radiactividad (RAR)

La RAR es una red automática de alerta radiológica de la Dirección General de Protección Civil y Emergen-

cias (DGPCE) cuyo objetivo principal es la detección inmediata y el seguimiento de la evolución de sucesos que puedan provocar niveles anormales de radiación gamma, cualquiera que sea su origen. La Dirección General de Protección Civil comenzó en 1992 la instalación de esta nueva red automática de alerta radiológica para sustituir la que existía anteriormente. En la actualidad consta de más de 900 estaciones de medida en continuo de niveles de radiación gamma ambiental expresada como tasa de dosis, distribuidas de una forma casi uniforme por todo el territorio nacional, con una densidad de estaciones mayor en las zonas costeras y en el entorno de las centrales nucleares (Figura 1).

La RAR tiene una estructura jerarquizada en tres niveles, con las estaciones de medida, diez centros regionales y un centro nacional. Además, existen siete centros asociados. En cada una de las estaciones se obtienen valores en tiempo real mediante detectores de tipo Geiger-Müller, que miden la tasa de dosis debida a la radiación gamma desde el nivel de radiación de fondo. Utilizan dos intervalos eléctricamente separados (alto y bajo) y de rango solapado, permitiendo este diseño una vigilancia recíproca que alerta de la posible avería de uno de los contadores. Mide entre 0,01 $\mu\text{Sv/h}$ y 5 Sv/h. La información obtenida en cada estación se centraliza y procesa en el centro regional correspondiente, que a su vez envía los datos al centro nacional que está duplicado y situado en la sede de la DGPCE en el Ministerio del Interior, en Madrid. Los centros asociados disponen de terminales de consulta y reciben la información de los centros regionales o del centro nacional. En la sala de emergencias (Salem) del CSN está instalado uno de estos terminales.

De este modo la RAR se constituye en una herramienta de gran utilidad a la hora de determinar el grado de radiactividad que pudiera afectar a la población y la adopción de las medidas de protección correspondientes, pudiendo ser además un útil instrumento de apoyo para las funciones de vigilancia y control de las instalaciones nucleares y radiactivas.

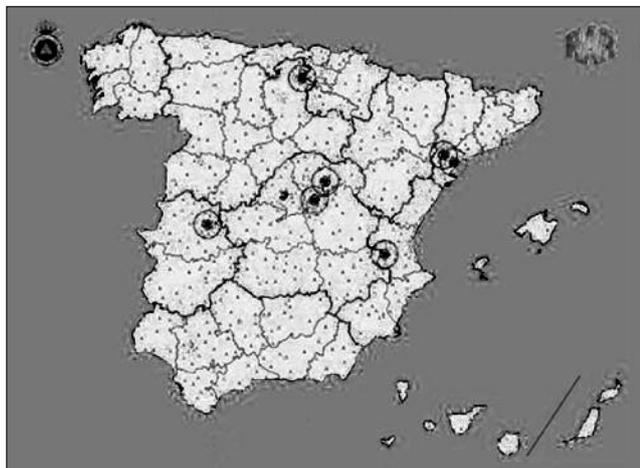


FIGURA 1. Estaciones de vigilancia de la Red de Alerta a la Radiactividad (RAR).

Red de Vigilancia Radiológica Ambiental (Revira)

El CSN ha establecido la Red de Vigilancia Radiológica Ambiental (Revira) en todo el territorio, que permite llevar a cabo un seguimiento continuo de la exposición de la población a las radiaciones ionizantes y conocer la calidad radiológica del medio ambiente. Sus objetivos generales son conocer la concentración, distribución y evolución de los elementos radiactivos y de los niveles de radiación en el medio ambiente, mantener actualizada una base de datos que permita establecer un rango de valores característico del fondo radiológico en cada región para disponer de valores de referencia y proporcionar datos fiables para estimar el impacto radiológico potencial sobre la población. Está constituida por la Red de Estaciones Automáticas (REA) y la Red de Estaciones de Muestreo (REM).

a) Red de Estaciones Automáticas (REA) y redes de las CC. AA.

La Red de Estaciones Automáticas (REA) del CSN tiene por objetivo la vigilancia en tiempo real de diversas variables radiológicas en la atmósfera, además de la tasa de dosis gamma, al ser la atmósfera un medio primario de difusión y transporte de contaminantes y obtener información adecuada para evaluar las consecuencias derivadas de un posible accidente nuclear. Consta en la actualidad de 24 estaciones automáticas de medida en continuo situadas junto a estaciones de medida de la Agencia Estatal de Meteorología (Aemet), distribuidas por todo el territorio nacional, y de una estación situada en Portugal, que comparte emplazamiento con la estación portuguesa de Penhas Douradas (Figura 2). Cada punto dispone de una estación radiológica de medida, de un discriminador selectivo de comunicaciones y de una estación meteorológica automática de Aemet.

En la estación radiológica se mide tasa de dosis gamma y concentraciones de radón, radioyodo y emi-

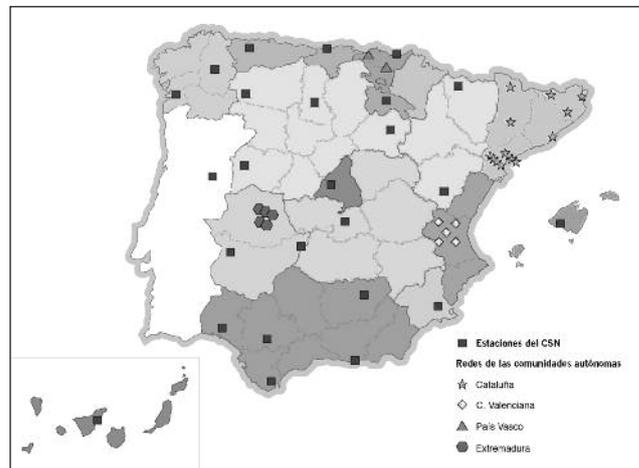


FIGURA 2. Red de Estaciones Automáticas (REA) y redes de las comunidades autónomas.

sores alfa y beta en aire. La tasa de dosis gamma se mide con una sonda compuesta por dos detectores Geiger-Müller seleccionados de manera que cubren desde 0,01 $\mu\text{Sv/h}$ a 10 Sv/h, situada en el exterior del edificio que alberga los equipos.

Además, se recoge una muestra continua de aire, con un caudal aproximado de 5 m^3/h , del exterior del edificio, que pasa por un filtro de papel para retener las partículas de polvo, se seca mediante calentamiento y pasa por un filtro de carbón para retener el yodo. Los filtros se sitúan frente a sendos detectores de plástico de centelleo de SZn (Ag), que discrimina desintegraciones alfa y beta, y de cristal de centelleo de INa (Tl) que detecta el yodo 131. El equipo electrónico del primer detector, a partir de la medida de las desintegraciones alfa y beta, realiza una estimación de concentración del radón presente en la muestra de aire.

La estación meteorológica dispone de instrumentación para medir la dirección y velocidad del viento, la temperatura y humedad relativa del aire, la precipitación y la presión atmosférica.

El discriminador selectivo de comunicaciones transmite los parámetros de control del sistema y almacena, prepara y transmite la información obtenida por las estaciones automáticas radiológica y meteorológica al Centro de Supervisión y Control (CSC), situado en la Salem del CSN. Desde el CSC se gestionan y analizan los datos recibidos, estando programadas dos llamadas automáticas diarias a cada estación para pedir los datos radiológicos y meteorológicos de las últimas 24 horas, que se completa con llamadas manuales cuando es necesario. Esto permite el seguimiento permanente, por parte del CSN, de las medidas realizadas por la REA, incluidas las alarmas que se generan.

Además, se ha establecido un modo de operación en emergencia que, entre otras cosas, modifica la frecuencia de llamadas automáticas a dos horas y genera, también de forma automática, los ficheros con la información a remitir a la plataforma europea de intercambio de datos de redes automáticas de vigilancia (Programa EURDEP).

También se dispone de un archivo histórico de estos datos para consultas en periodos de tiempo más extensos.

Las comunidades autónomas de Valencia, Cataluña, Extremadura y País Vasco disponen de sus propias redes automáticas similares a la del CSN, su distribución se recoge en la figura 2. A través de acuerdos específicos en esta materia, el CSN tiene acceso a los datos de estaciones de estas redes.

b) Red de Estaciones de Muestreo (REM)

En la Red de Estaciones de Muestreo (REM), gestionada por el CSN, se recogen diversos tipos de muestras

de las principales vías de transferencia de los contaminantes radiactivos a las personas, para su análisis posterior en laboratorios que realizan medidas de baja actividad, lo que permite obtener niveles de detección inferiores a los alcanzados con los equipos automáticos. Incluye dos programas de vigilancia, el de la atmósfera y el medio terrestre y el del medio acuático (aguas continentales y costeras). Para su ejecución el CSN ha establecido acuerdos de colaboración con laboratorios de 19 universidades españolas, con el Centro de Investigaciones Energéticas, Medio Ambientales y Tecnológicas (CIEMAT) y con el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, del Ministerio de Fomento (CEDEX).

En el desarrollo de estos programas, iniciados en el año 1992 (excepto la vigilancia de las aguas continentales iniciada en 1987), se tuvieron en cuenta las recomendaciones de la Comisión de la Unión Europea, de acuerdo con las cuales se establecieron los dos tipos de redes existentes en la actualidad. La *red densa* formada por numerosas estaciones de muestreo distribuidas por todo el territorio que queda adecuadamente vigilado y la *red espaciada* constituida por pocos puntos de muestreo en los que se realizan medidas de gran sensibilidad, de manera que detecten los niveles existentes de radiactividad y permitan estudiar sus tendencias.

Existen diferentes programas:

- **Programa de Vigilancia de la Atmósfera y del Medio Terrestre.**

Incluye la recogida y análisis de muestras de aire, suelo, agua potable, leche, y dieta tipo, de acuerdo con el programa de la tabla 1. Las estaciones de muestreo, que se representan en la figura 3 dan una cobertura relativamente uniforme de todo el territorio nacional excepto en el caso de las muestras de leche que se toman únicamente donde la producción es mayor; se encuentran generalmente en el campus universitario o en las inmediaciones del laboratorio, si bien en el caso del suelo y la leche las muestras se toman ocasionalmente en zonas más alejadas, en puntos representativos de la deposición en el terreno o de la producción lechera de la zona, respectivamente. La muestra de dieta tipo se recoge en los comedores de las universidades o instituciones encargadas del programa y consiste en la dieta completa de una persona durante cinco días seguidos.

La frecuencia de muestreo y análisis de las muestras depende del medio a que pertenecen, puesto que cada uno tiene una tasa característica de transferencia de su contenido radiactivo, siendo la vigilancia de la calidad del aire, como vehículo de transporte rápido de posibles contaminantes, a la que mayor esfuerzo dedica el programa. En la red espaciada es necesario disponer de equipos de recogida de muestras y de procedimientos de análisis tales que permitan obtener los bajos niveles de detección requeridos en



FIGURA 3. Red de Estaciones de Muestreo (REM): estaciones del Programa de Vigilancia de la Atmósfera y Medio Terrestre, redes densa y espaciada.

TABLA 1. Red de Estaciones de Muestreo (REM): Programa de Vigilancia de la Atmósfera y Medio Terrestre, redes densa y espaciada

TIPO DE MUESTRA	ANÁLISIS REALIZADOS Y FRECUENCIA				
	Red densa		Red espaciada		
Aire	Actividad α total	Semanal	Cs-137	Semanal	
	Actividad β total	Semanal	Be-7	Semanal	
	Sr-90	Trimestral			
	Espectrometría γ	Mensual			
	I-131	Semanal			
Suelo	Actividad β total	Anual			
	Espectrometría γ	Anual			
	Sr-90	Anual			
Agua potable	Actividad α total	Mensual	Actividad α total	Mensual	
	Actividad β total	Mensual	Actividad β total	Mensual	
	Espectrometría γ	Mensual	Actividad β resto	Mensual	
	Sr-90	Trimestral	H-3	Mensual	
			Sr-90	Mensual	
			Cs-137	Mensual	
		Isótopos naturales	Bienal		
Leche	Espectrometría γ	Mensual	Sr-90	Mensual	
	Sr-90	Mensual	Cs-137	Mensual	
Dieta tipo	Espectrometría γ	Trimestral	Sr-90	Trimestral	
	Sr-90	Trimestral	Cs-137	Trimestral	
			C-14	Trimestral	

ella. Así, en la red densa se recogen muestras de aire con un caudal de entre 1,8 y 5 m³/h, mientras que en la red espaciada se requieren equipos que permiten recoger muestras de aire con un caudal de entre 500 y 1.000 m³/h para poder obtener los límites de detección adecuados.

• **Programa de Vigilancia del Medio Acuático**

La Red Nacional de Vigilancia del Medio Acuático

incluye los ríos de las principales cuencas hidrográficas y las aguas del perímetro costero español. El Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) inició en el año 1978 el Programa de Vigilancia Radiológica de las Aguas de los Ríos Españoles, participando el CSN en el mismo desde 1987. Posteriormente, en 1992, se amplió la vigilancia a las aguas costeras. Y por últi-

mo, en el año 2004, se inició la vigilancia de las aguas continentales y costeras en el Programa de la Red Espaciada, para lo cual el laboratorio del CEDEX implementó las técnicas analíticas adecuadas en dicha red.

Como se observa en la figura 4, las estaciones de muestreo de las aguas continentales están situadas a lo largo de los ríos de las distintas cuencas hidrográficas, tanto en zonas de potencial influencia de las instalaciones nucleares y del ciclo de combustible como en áreas alejadas de ellas incluyendo en la actualidad más de ochenta puntos. Para la red espaciada se han seleccionado dos estaciones, una en el río Ebro, a la altura de la localidad de García, en la provincia de Tarragona, y otra en el río Tajo, en el embalse de Alcántara. La vigilancia del litoral español desde el punto de vista radiológico incluye actualmente 15 estaciones que integran el Programa de la Red Densa, entre las que se han seleccionado las estaciones de cabo de Ajo, en el mar Cantábrico, y cabo de Creus, en el mar Mediterráneo, para desarrollar el Programa de la Red Espaciada (Figura 4).

Las muestras se recogen en los ríos con frecuencia mensual, trimestral o con dispositivos de recogida proporcional continua en aquellas estaciones situadas aguas abajo de las instalaciones. En la red espaciada la frecuencia es trimestral en los dos puntos. En el mar la frecuencia de muestreo y análisis siempre es trimestral y las muestras de agua se toman en superficie a una distancia de 10 millas de la costa, excepto en los puertos marítimos, donde las muestras se toman en la bocana.

En todas las muestras recogidas en el Programa de la Red Densa se realizan las determinaciones: índice de actividad alfa total, índice de actividad beta total, beta resto (beta total excluido el potasio-40 que es un radionucleido natural muy abundante), tritio y espectrometría gamma. En el Programa de la Red Espaciada se realiza la determinación de la concentración de actividad de cesio-137.



FIGURA 4. Red de Estaciones de Muestreo (REM): estaciones del Programa de Vigilancia del Medio Acuático, redes densa y espaciada.

b) Vigilancia asociada a instalaciones

La legislación vigente requiere a los titulares de las instalaciones nucleares y radiactivas del ciclo del combustible el establecimiento de un programa de vigilancia radiológica en el entorno de sus instalaciones durante todas las etapas de la vida de las mismas para estimar el impacto radiológico derivado de su funcionamiento.

Estos programas se establecen para garantizar el cumplimiento de los requisitos legales y reglamentarios impuestos a las instalaciones y verificar la idoneidad del Programa de Vigilancia de Efluentes Radiactivos y de los modelos de transferencia de los radionucleidos en el medio ambiente. Su contenido y alcance se define siguiendo las recomendaciones del CSN y tiene en cuenta el tipo de instalación y características del emplazamiento tales como demografía, usos de la tierra y el agua y hábitos de la población.

Las vías genéricas de exposición consideradas en los programas son las de exposición directa de las personas a las radiaciones como el aire (inhalación, deposición húmeda y total), radiación directa, agua potable y alimentos (vegetales, leche, carne, huevos, peces y mariscos); agua superficial, que aunque en algunos casos no sea de uso directo por la población es, junto con el aire, el medio primario de recepción de los radionucleidos vertidos por la instalación, de donde se transfieren a otros compartimentos del ecosistema, y otras que, sin ser vías directas de exposición, son buenos indicadores de la evolución de la radiactividad en el medio ambiente como los sedimentos y ciertos organismos indicadores. Para ello, se analizan muestras de todas esas vías y se realiza la determinación de la tasa de dosis gamma ambiental mediante dosímetros de termoluminiscencia. Las determinaciones analíticas realizadas dependen de los efluentes emitidos en cada instalación.

Actualmente, hay 14 programas de vigilancia establecidos: seis en torno a las centrales nucleares en explotación (en estos programas se recogen anualmente más de 6.800 muestras); dos en el entorno de otras instalaciones nucleares o radiactivas en operación (con unas 1.300 muestras al año) y seis en el entorno de otras instalaciones nucleares o radiactivas en fase de parada, desmantelamiento, clausura o latencia (se recogen del orden de 2.900 muestras anuales).

Control regulador

El CSN ejerce el control regulador mediante inspecciones periódicas, evaluación de los datos obtenidos y realización de programas de vigilancia independientes, lo que permite confirmar su ejecución y supervisar la calidad de los resultados.

Los programas de control independiente del CSN tienen un alcance aproximado del 5% de los programas que desarrollan los titulares de las instalaciones. Se recogen, de modo independiente, las mismas muestras y en los mismos puntos y se realizan las mismas determinaciones analíticas aunque en un laboratorio diferente al que realiza las del programa del titular. Estos programas se llevan a cabo por el CSN, bien estableciendo de modo directo acuerdos de colaboración con diferentes entidades o mediante encomienda a las comunidades autónomas como es el caso de Cataluña y de la Comunidad Valenciana. Para asegurar la independencia y credibilidad social de estas entidades, se ha recurrido a laboratorios de universidades públicas de las comunidades autónomas donde se sitúan las instalaciones.

CALIDAD EN LA VIGILANCIA RADIOLÓGICA AMBIENTAL

Dado que a lo largo de todo el proceso de realización de las medidas de baja actividad, que son las que corresponden a las muestras obtenidas en los programas de vigilancia radiológica ambiental, existen diversos factores que pueden influir en los resultados que se obtienen, resulta de gran importancia tratar de garantizar la homogeneidad y fiabilidad de las medidas realizadas en los diferentes laboratorios nacionales.

Para ello, en el caso de la vigilancia de las instalaciones, los titulares son responsables de implantar un programa de garantía de calidad que incluya la vigilancia radiológica ambiental y tienen que realizar un programa de control de calidad analítico sobre un porcentaje entre el 5% y el 15% de los análisis del programa principal. Además, el CSN lleva a cabo su vigilancia independiente, como ya se ha indicado.

En la vigilancia nacional se requiere la disponibilidad de la capacidad técnica suficiente para el desarrollo del programa establecido, así como un programa de garantía de calidad y el uso de procedimientos normalizados.

El CSN supervisa todos los programas mediante la revisión de los datos proporcionados y la realización de inspecciones y auditorías periódicas y, además, ha establecido un programa anual de campañas de intercomparación analítica en las que participan todos los laboratorios implicados en la vigilancia radiológica ambiental (alrededor de treinta).

Por otra parte, para evitar que las diferencias en los procedimientos aplicados en las distintas etapas del proceso de medida de la radiactividad ambiental constituyan una posible fuente de variabilidad en los resultados se continúan desarrollando, con el

apoyo del CSN, procedimientos normalizados mediante grupos de trabajo específicos establecidos con este fin.

INFORMACIÓN A LA POBLACIÓN Y A LAS INSTITUCIONES

Los datos radiológicos de todos los programas de vigilancia radiológica ambiental que cada año se desarrollan en España, excepto los de las redes automáticas, se recogen en la base de datos KEEPER de vigilancia radiológica ambiental del CSN, con el objeto de poder realizar un tratamiento adecuado de los mismos y para facilitar la función del CSN de informar al público y a las instituciones.

El CSN, en los informes anuales que presenta al Congreso y al Senado y a los Parlamentos autonómicos de las comunidades con instalaciones nucleares, incluye información sobre todas las redes de vigilancia y sobre los resultados de los programas que se desarrollan en cada una de ellas. Además, anualmente realiza una publicación monográfica con los resultados de los programas de vigilancia en España, que recoge información detallada e incluye una valoración de los mismos. Cada dos años publica también un informe monográfico sobre la operación y resultados de la REA. Tiene así mismo otras publicaciones sobre vigilancia ambiental. Todas ellas pueden ser solicitadas al servicio gratuito de publicaciones del CSN, por cualquier persona que esté interesada (peticiones@csn.es).

En la página web del CSN (<http://www.csn.es>) se incluye información sobre los programas de vigilancia radiológica ambiental y se facilita el valor medio diario y el valor medio mensual de la tasa de dosis gamma medida en cada una de las estaciones automáticas de la REA del CSN y de las redes valenciana, catalana, vasca y extremeña.

Existe un servicio de atención a las peticiones de información de ciudadanos particulares y organismos u organizaciones diversas. Estas demandas de información se pueden realizar, entre otros medios, por correo electrónico (comunicaciones@csn.es).

El centro de información, al que se organizan visitas guiadas de público, solicitándolo por correo electrónico (centroinformacion@csn.es), también suministra información sobre este tema.

Por otro lado, publicaciones de otras entidades también recogen datos sobre las redes de vigilancia radiológica ambiental españolas, como los informes anuales CEDEX sobre el Programa de Vigilancia de las Aguas Continentales y Costeras, el informe anual sobre el medio ambiente del Ministerio de Medio Ambiente y

Medio Rural y Marino y los informes de resultados de la red de seguimiento radiológico ambiental de la Unión Europea, que realiza la Comisión Europea con los datos suministrados por los Estados miembros. Todos estos datos se almacenan en la base de datos *Radioactivity Environmental Monitoring* de la Comisión. Esta base contiene información radiológica detallada de todos los países de la UE, y su acceso se encuentra disponible a través de Internet en la dirección <http://java.ei.jrc.it>.

BIBLIOGRAFÍA

1. Fernández del Castillo JM. La Red de Alerta de la Radiactividad en España. *Revista de Protección Civil*. 2000 (Sept);5:28-34.
2. Consejo de Seguridad Nuclear. Red de estaciones automáticas de vigilancia radiológica ambiental (REA) del CSN. Operación y resultados. Años 2006 y 2007. Colección Informes Técnicos. Referencia INT. 04-18. Madrid, 2008.
3. Consejo de Seguridad Nuclear. Programas de vigilancia radiológica ambiental. Resultados 2008. Colección Informes Técnicos. Referencia INT. 04-19. Madrid, 2009.

SOCIEDAD ESPAÑOLA



DE SANIDAD AMBIENTAL

SESA: UN FORO DE INVESTIGACIÓN Y DEBATE

La Sociedad Española de Sanidad Ambiental se constituyó con el objetivo prioritario de servir de foro para agrupar a las personas físicas o jurídicas, cuyas actividades profesionales o científicas se desenvuelven en el campo de la Sanidad Ambiental. Su finalidad es favorecer el intercambio de conocimientos en los campos de la investigación, gestión, formación de personal o cualquier otro que contribuya al desarrollo y difusión de la Sanidad Ambiental.

Con independencia, objetividad y profesionalidad, la SESA quiere comprometerse con la sociedad española a dar una respuesta científica a los rápidos cambios que se producen en el campo de la Salud y Medio Ambiente, tan necesitado de foros de exposición, intercambio y comunicación, centrándose en el estudio e identificación de los factores de riesgo ambientales y los efectos sobre la salud, aportando soluciones realistas y efectivas.

¿QUÉ ACTIVIDADES DESARROLLA LA SESA?

- Grupos de trabajo
- Jornadas científicas
 - Seminarios
 - Mesas redondas
- Revista de Salud Ambiental
- Información y estudios de Sanidad Ambiental

¿CÓMO PUEDES ASOCIARTE?

Dirigiéndote a la secretaría técnico-administrativa de la SESA:

MasterCongresos S. L.
 C/ Ramón y Cajal 5 · 28100, Alcobendas (MADRID)
 Telf.: 911 10 37 53
sesa@mastercongresos.com

EL GAS RADÓN COMO CONTAMINANTE ATMOSFÉRICO

THE RADON GAS. AN AIR POLLUTANT

Luis Santiago Quindós Poncela, Carlos Sainz Fernández, Luis Quindós López, Ismael Fuente Merino y José Luis Arteché

Grupo Radón. Facultad de Medicina de Santander. Universidad de Cantabria

RESUMEN

En este trabajo se abordan distintos aspectos acerca de la problemática del radón en viviendas. Este gas de origen natural se encuentra prácticamente en la totalidad de los suelos de la corteza terrestre debido a la presencia de uranio y radio en la composición de los mismos. En función de factores arquitectónicos y de hábitos de ocupación de la vivienda pueden alcanzarse concentraciones elevadas del gas en interiores. En estas situaciones existe un incremento cuantificable del riesgo de desarrollar cáncer de pulmón en los habitantes de la vivienda. En los últimos años, las mejoras metodológicas en la realización de estudios epidemiológicos han conducido a la obtención de evidencias científicas de la relación entre la presencia de radón en interiores y el riesgo de cáncer de pulmón. Esta relación, encontrada hace años en trabajadores de minas de uranio, ha sido corroborada en el caso del radón residencial a la luz de los metaanálisis realizados recientemente a partir de estudios epidemiológicos agrupados.

Durante los últimos 25 años se han realizado más de 6.000 medidas de radón en interiores. Se presentan los principales resultados de las mayores campañas de medida llevadas a cabo, así como los criterios recientemente establecidos por el Consejo de Seguridad Nuclear acerca de los niveles de intervención en viviendas y lugares de trabajo.

PALABRAS CLAVE: radón, cáncer, descendientes.

INTRODUCCIÓN

El radón se encuentra en cantidades significativas en el suelo¹, y es este el que representa la mayor contribución del mismo en el interior de las viviendas, tal y como se muestra en la figura 1, sin descartar contribuciones puntuales de materiales de construcción y aguas. La evidencia documental que data del siglo XVI indica que la exposición a niveles elevados de radón era probablemente la causa del exceso de muertes debido a cáncer de pulmón de los mineros de algunas minas de Europa Central, tales como las minas de plata en Alemania y Bohemia². Inicialmente, los científicos pensaban que la radiación natural no era peligrosa para la salud de la

ABSTRACT

In this work different aspects about the problem of the radon in dwellings are approached. This gas of natural origin is virtually present in all the soils in the earth's crust due to the presence of uranium and radium in the composition of them. Depending on architectural factors and of occupancy habits of the house, high concentrations of this gas can be reached indoors. In these situations, there is a quantifiable increment of the risk of developing lung cancer in the inhabitants of the housing. In the last years the methodological improvements in the realization of epidemiologic studies have led to the obtaining of scientific evidences about the relationship between the presence of indoor radon and the risk of lung cancer. This relationship, found years ago in workers of uranium mines, has been corroborated in the case of the residential radon by the light of several recent meta-analysis performed on groups of epidemiologic studies.

More than 6.000 radon measurements have been carried out in Spain during the last 25 years. A summary of the results obtained from the main national radon surveys are also presented, as well as the criteria recently established by the Spanish Nuclear Safety Council concerning radon action levels in dwellings and workplaces.

KEY WORDS: radon, decay products, cancer

población en la mayor parte de nuestros países. Sin embargo, ese punto de vista comenzó a cambiar a mediados del siglo XX. El cambio fue dramático en los años 70 y 80, cuando se descubrió que el interior de algunas casas tenía niveles de radón en concentraciones elevadas. Entonces, en 1984, el asunto atrajo la atención nacional en los Estados Unidos, cuando un trabajador de la construcción puso en marcha un monitor de radiación al entrar en la estación de Generación Nuclear de Limerick, en Pensilvania. La planta no estaba generando todavía productos de fisión, esto hizo pensar que su casa era la fuente de contaminación. En estos momentos, se entiende que en áreas donde el nivel natural de radón es alto, la baja presión del aire dentro de las casas

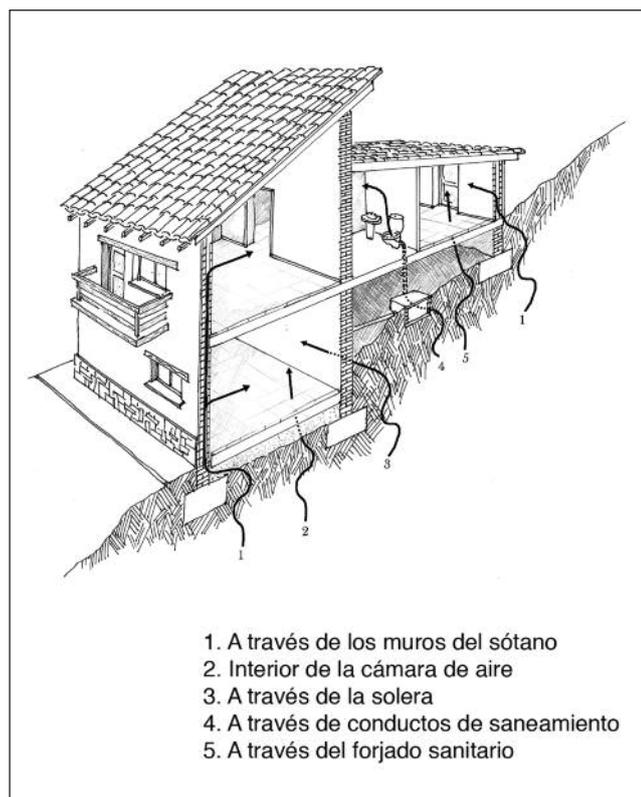


FIGURA 1. Fuentes de radón en una vivienda unifamiliar.

trae como consecuencia, un flujo hacia el interior de aire rico en radón, a través de las grietas en las losas del piso o en las paredes de los sótanos³.

En respuesta a la necesidad creciente de información sobre los riesgos de la exposición en interiores se han llevado a cabo estudios epidemiológicos en la población general. Los primeros estudios fueron en gran parte ecológicos en diseño y los resultados variados. Estudios de casos y controles de cáncer de pulmón se implementaron principalmente en los Estados Unidos y Europa. Algunos de estos primeros estudios no medían realmente el radón en interiores, confiando en medidas sustituibles como es el tipo de construcción de la casa, por estas razones los datos obtenidos no resultaron fiables a la hora de proveer estimaciones cuantitativas del riesgo. Estudios más sofisticados con muestras más amplias se llevaron a cabo a mediados y finales de los años 80. Algunos de estos estudios sugerían una asociación entre los niveles elevados de radón en las viviendas y una elevada incidencia de cáncer de pulmón; aunque otros no, incluyendo el estudio que llevó a cabo Salud Canadá en Winnipeg. Estos estudios, en conjunto, no pudieron aportar evidencia concluyente de riesgo incrementado de cáncer de pulmón⁴.

A finales de los años 80, el IV Comité de Efectos Biológicos de la Radiación Ionizante (BEIR) revisó los estudios de casos y controles publicados y planificados. Inmediatamente se evidenciaron las limitaciones potenciales del tamaño de la muestra y los posibles niveles

de margen de error en las medidas. Se propuso agrupar estudios individuales y se convenció a agencias financiadoras, como el Departamento de Energía y la Comisión para las Comunidades Europeas, para que apoyaran la planificación de grupos eventuales de estudios globales de casos y controles, relacionados con la exposición al radón en interiores y el cáncer de pulmón.

La incertidumbre en la relación entre radón y cáncer de pulmón en los estudios de control de casos iniciales se ha ido reduciendo con sucesivas mejoras metodológicas. En estos momentos se acepta que decenas de miles de muertes cada año por cáncer de pulmón están relacionadas con la exposición al radón. La solidez de los datos y los análisis apuntan a una necesidad de acción. Para reducir el riesgo de cáncer de pulmón por la exposición al radón, las autoridades nacionales deben establecer métodos y medidas que, con una sólida base científica, contribuyan a desarrollar políticas de salud adecuadas.

A este respecto, la Organización Mundial de la Salud (OMS) tuvo la previsión de trabajar en el desarrollo de las directrices. En 1996 publicó un informe que contenía diferentes conclusiones y recomendaciones encaminadas a comprender científicamente el riesgo del radón. Más recientemente, a través de del proyecto internacional *International Radon Project*, en el que han participado más de treinta países, este organismo ha mostrado la necesidad que tienen los países de actuar en las áreas de control y comunicación de riesgos⁵.

MATERIAL Y MÉTODOS

Riesgos derivados de la inhalación de radón

En los últimos 15 años, investigadores de todo el mundo se han reunido regularmente para establecer un marco de trabajo y colaboración comunes. Se han agrupado estudios en Norteamérica y Europa para producir análisis combinados de los diferentes trabajos, obteniéndose esencialmente los mismos resultados.

El proyecto norteamericano de agrupación incluyó información de siete estudios sobre la exposición al radón en el sector residencial, para un total de 3.662 casos y 4.966 controles. Esto permitió un examen más detallado de la distribución de concentraciones de radón, del riesgo de cáncer de pulmón y sus modificadores potenciales, que los realizados con anterioridad. Todos los estudios utilizaron detectores de trazas para medidas a largo plazo, con el fin de establecer las concentraciones de radón en el sector residencial. Las probabilidades (ORs) de cáncer de pulmón se incrementaron con la concentración de radón en este sector de estudio. La OR estimada después de una exposición al radón, con una concentración de 100 Bq/m³ en un intervalo de exposición de 5 a 30 años antes de la fecha de referencia, fue de 1,11

(95% intervalo confiable = 1,00-1,28). Esta estimación, es compatible con el 1,12 (1,02-1,25) pronosticado por la extrapolación en una tendencia descendente de datos de la minería. No había evidencias de la heterogeneidad de los efectos de radón en los estudios. No había heterogeneidad aparente en la asociación por sexo, nivel educacional, tipo de respuesta (personal o enviada) o tabaquismo, aunque había algunas evidencias de la relación entre la disminución del riesgo de cáncer de pulmón asociado al radón con la edad⁶.

El grupo de colaboración europeo extrajo información de 13 estudios existentes, que incluyen 7.148 casos de cáncer de pulmón y 14.208 controles. La concentración media de radón para los 13 estudios de nueve países es considerablemente mayor que la media en los análisis combinados norteamericanos. La concentración media de radón en las viviendas de las personas del grupo de control era de 97 Bq/m³, con 11 % de las medidas > 200 y 4% > 400 Bq/m³. La probabilidad de cáncer de pulmón era de 1,08 (con 95% intervalo confiable 1,03-1,16) por 100 Bq/m³ de incremento en el radón medido^{7,8}.

Esta estimación del exceso de riesgo no difiere significativamente con el estudio, la edad, el sexo o el tabaquismo. En ausencia de otras causas de muerte, los riesgos absolutos de cáncer de pulmón a la edad de 75 años a concentraciones usuales de radón de 0,100 y 400 Bq/m³ serán de 0,4%, 0,5% y 0,7%, respectivamente, para los no fumadores y cerca de 25 veces mayor (10%, 12% y 16%) para los fumadores. Es decir, de forma colectiva, pero no por separado, los estudios europeos muestran el peligro del radón en el sector residencial, especialmente para los fumadores o aquellos que abandonaron el hábito recientemente.

Los resultados de estos estudios conjuntos muestran una evidencia consistente de la asociación entre el radón residencial y el riesgo de cáncer de pulmón, un resultado pronosticado por la extrapolación de los resultados de estudios ocupacionales realizados a mineros expuestos al radón en el interior de las minas, y consistente con los resultados que arrojan los estudios *in vitro* y con animales⁹. Además, todo lo anterior ha venido refrendado por la última publicación de la OMS, en la que no solo deja clara la relación existente entre la exposición a radón y la incidencia de cáncer de pulmón, sino que además establece un porcentaje, entre el 3% y el 14% del total de los cánceres de pulmón, atribuible directamente a la inhalación de dicho gas¹⁰.

Recomendaciones y regulación

La Comisión Internacional para la Protección Radiológica (ICRP)¹¹ estableció en 1991 que la mejor opción de un nivel de acción para las viviendas traería consigo la necesidad de un considerable trabajo para remediar esta situación. En 1993 recomendó un nivel óptimo en el radón de 200-600 Bq/m³, el cual corresponde

a dosis anuales efectivas de 3 a 10 mSv. Esta comisión en sus nuevas recomendaciones, refrendadas en su última reunión el pasado mes de marzo de 2007 en Essen (Alemania) no ha hecho sino reafirmarse en el mismo criterio, en cierta medida, en contra de las opiniones de múltiples investigadores que sugerían un descenso en los mencionados límites. Es más, a raíz de la publicación del *WHO Handbook Indoor Radon*, la ICRP en su reunión de comisión en noviembre de 2009 propone una reducción del nivel de 600 Bq/m³ a 300 Bq/m³, lo que sin duda es una proposición de cambios de los factores de conversión de concentración a dosis¹².

En cuanto a las acciones de remedio, la Environmental Protection Agency (EPA) estadounidense considera que el método más efectivo y económico es la despresurización compartida. Esto cuesta un promedio de 1.200 dólares por casa. La autoevaluación por un inspector profesional puede costar muy poco, unos 350 dólares. La aplicación de barreras impermeables al radón en las casas nuevas podría añadir de 350 a 500 dólares al costo de las mismas. Esta agencia no depende de la regulación sino de la voluntad de acción, de la educación pública y de la asociación de un amplio rango de organizaciones, los gobiernos, ONGs, los educadores, los empleados de bienes raíces y de la industria de servicios del radón. La EPA considera que la mejor oportunidad para abordar la problemática del radón está en el propio mercado inmobiliario, encontrándose los mayores obstáculos para la aceptación pública en los gastos para mitigar el problema cuando este se presenta.

La Acción Concertada ERRICCA-2 (European Radon Research and Industry Collaboration Concerted Action, Contract No: FIRI-CT-2001-20142), encuadrada dentro del Fifth Framework Programme de la Unión Europea, representa el mayor esfuerzo realizado hasta el momento presente, en la labor de conseguir que investigadores y profesionales unan sus esfuerzos para tratar de minimizar el impacto negativo que el gas radón tiene en nuestra salud, reuniendo a representantes de más de veinte países procedentes del campo científico e industrial.

RESULTADOS

El radón en España

Desde hace más de treinta años el interés en esta fuente principal de radiación natural ha dado lugar al desarrollo de campañas nacionales de medida, encaminadas a evaluar los niveles medios de radón en viviendas y a localizar las áreas de mayor riesgo potencial, derivado de la inhalación del radón y sus descendientes (Figura 2), al igual que se ha llevado a cabo en otras zonas de la Unión Europea (Figura 3).

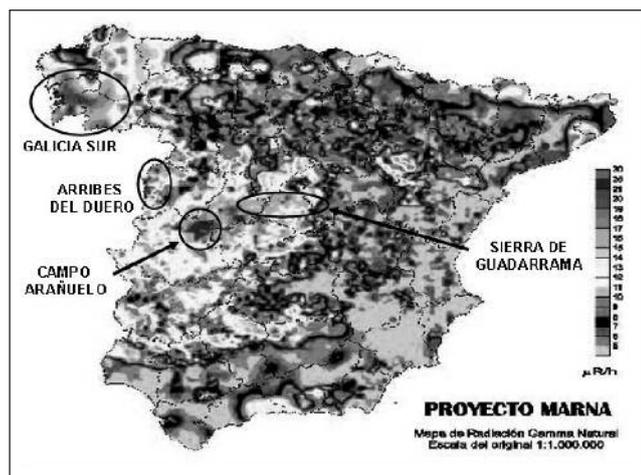


FIGURA 2. Mapa de radiación gamma externa y regiones de alto nivel de radiación natural en España.

En España, la primera campaña nacional de medida de radón empezó en 1988¹³. Los datos obtenidos de las 2.000 medidas llevadas a cabo en este estudio representaron el primer paso para afrontar la problemática del radón en España. Además, desde 1991 el Consejo de Seguridad Nuclear I, junto con la Empresa Nacional del Uranio y algunas universidades, desarrollaron el proyecto MARNA^{14,15}. Este proyecto tuvo como objetivo principal realizar un mapa nacional de radiación natural, con el cual estimar las zonas de emisión potencial de radón. La confección del mapa se hizo a partir de medidas de radiación gamma externa y estimaciones de la cantidad de radio en suelos, usando parámetros geológicos y correlaciones empíricas entre tasa de exposición gamma externa al aire libre y la concentración de ²²⁶Ra en suelo.

A partir de la información conjunta obtenida en estos estudios se inició otra campaña nacional de medida de radón y varias regionales focalizadas en aquellas zonas donde se registraron los valores más altos de radiación natural. Estos proyectos contemplaron una aproximación más amplia a la exposición a fuentes naturales de radiación, incluyendo, además de las medidas de radón en interiores, medidas de radiación gamma externa y caracterización del contenido en isótopos radiactivos naturales de suelos.

Las medidas del radón en interiores fueron realizadas con detectores de trazas CR-39 expuestos en periodos de seis meses, tal y como se muestra en la figura 4. En todas las medidas se aplicó un factor de corrección estacional, necesario para obtener valores representativos de la concentración media anual de radón¹⁶. La radiación gamma externa a 1 m sobre el suelo se midió usando un monitor Mini-Instruments tipo 6-80 dotado con un tubo Geiger Muller MC-70, especialmente diseñado para medir niveles gamma ambientales. Por otro lado, la determinación de radiaci-

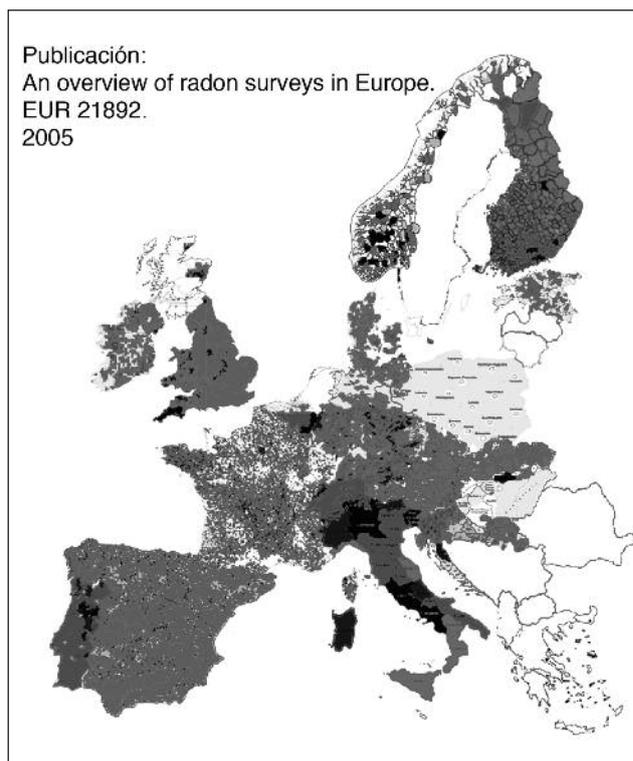


FIGURA 3. Mapas "potenciales" de radón a nivel europeo.

vidad en suelos se centró en la medida de las concentraciones de ²²⁶Ra, ²³²Th y ⁴⁰K. Para ello, todas las muestras de suelo son secadas en horno a 100 °C durante 24 h, pesadas para determinar el contenido en agua, trituradas y tamizadas. Una vez envasadas, se espera un periodo no inferior a cuatro semanas para asegurar que se ha alcanzado el equilibrio radiactivo entre ²²⁶Ra, ²²²Rn y sus descendientes de vida corta. Transcurrido este tiempo, las medidas de actividad gamma se realizan usando un detector de semiconductor de Ge de alta pureza y bajo fondo con una eficiencia relativa del 20% y una resolución de 1,86 KeV en el pico de 1,33 Mev.

Entorno de las centrales nucleares españolas

Durante 1998 y 1999, el Consejo de Seguridad Nuclear financió un proyecto de evaluación de la exposición a fuentes naturales de radiación a las que se encuentra sometida la población en el entorno de las centrales nucleares en España. Las seis instalaciones en activo aglutinan en sus alrededores una población total de unas 200.000 personas. Las magnitudes medidas en este proyecto fueron radón en interiores, tasa de dosis por radiación gamma externa y contenido radiactivo natural en suelos.

El mayor promedio de dosis efectiva anual se encontró en el entorno de la central nuclear de Almaraz, en la provincial de Cáceres¹⁷. El valor estimado, de 4,07 mSv y⁻¹, fue 1,6 veces superior al promedio nacional. Y la

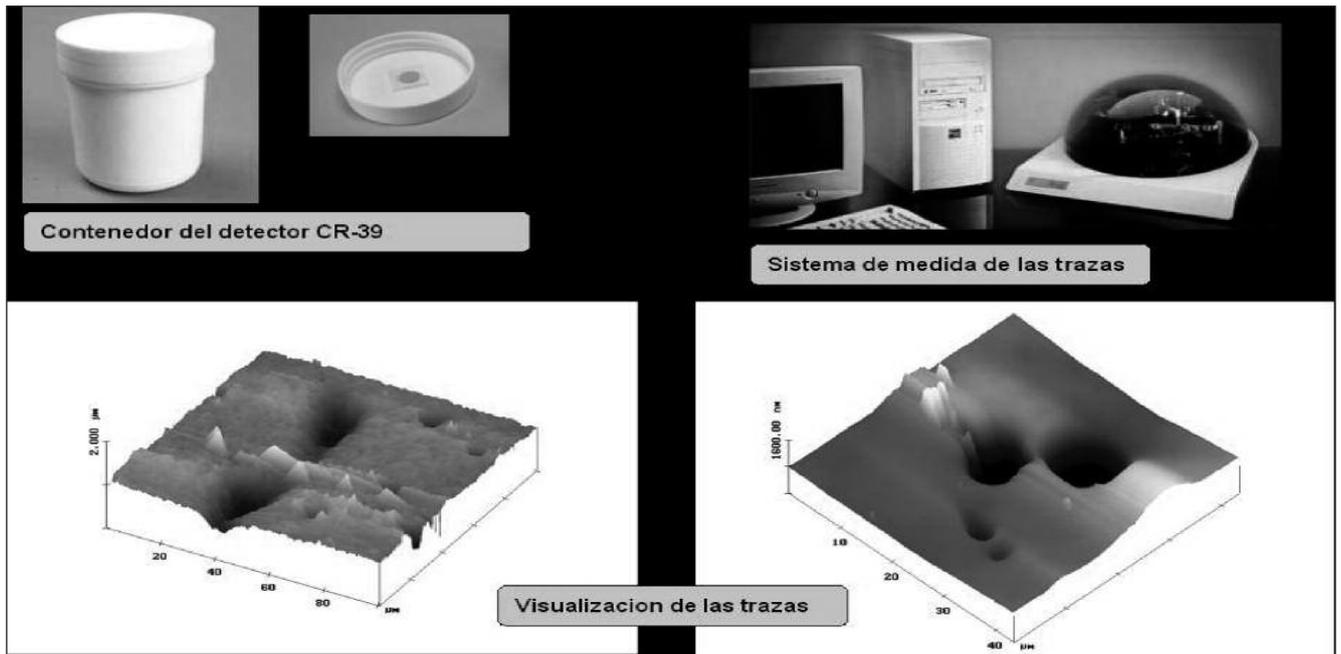


FIGURA 4. Evaluación de la concentración de radón.

razón de esta importante diferencia con el resto de las zonas estudiadas se encontró en las concentraciones de radón en viviendas. Por esta razón, y con el fin de realizar una estimación más precisa de la dosis debida a la exposición al radón, se llevó a cabo un mayor número de medidas en la región del Campo Arañuelo, en el entorno de la central de Almaraz.

Además de la mejora en la estimación de dosis, este estudio puso de relieve la existencia de una zona de alto nivel de radón en la comarca de la Vera en el norte del Campo Arañuelo. En la Vera se encontró que un 9% de las casas, presentaban concentraciones promedio de radón superiores a los 400 Bq m^{-3} . Además, la nueva estimación de dosis proporcionó un valor promedio de 6 mSv por año en la comarca, encontrándose el valor máximo de 25 mSv por año en el pueblo de Jarandilla, perteneciente a la zona en la que los estudios previos habían mostrado que un 30% de las casas tenían niveles de radón por encima de 400 Bq m^{-3} .

Entorno de las antiguas minas de uranio

Desde 2000 hasta 2001, con financiación del Consejo de Seguridad Nuclear, se realizó un estudio de medida de radiación natural en el entorno de las seis zonas empleadas para la extracción y procesado del mineral de uranio en España. La mayoría de las antiguas minas de uranio se localizan en la parte occidental del país y predominan en su composición geológica rocas metamórficas, calcita y granodioritas. Las minas fueron explotadas durante el periodo comprendido entre 1950 y 1980 para, posteriormente, iniciarse un plan de restauración que duró desde 1987 hasta 1996. Uno de los principales objetivos del plan de restauración fue reducir y controlar el flujo de radón desde el suelo y la con-

taminación radiológica del agua. La población de todas estas áreas comprende unos 400.000 habitantes.

Las máximas media geométrica de concentración de radón y dosis efectiva anual de 111 Bq m^{-3} y $5,1 \text{ mSv}$ por año, respectivamente, se encontraron en los alrededores de la mina de Albala¹⁸. La estimación de dosis efectivas medias anuales produjo valores en el rango comprendido entre $3,2$ y $5,1 \text{ mSv}$ al año, lo que representa entre 1,2 y 2 veces el valor promedio nacional. Un 14% de las viviendas con concentraciones de radón superiores a 400 Bq m^{-3} pertenecía al entorno de la mina de Albala.

Sierra de Guadarrama

El área de la sierra de Guadarrama, en el norte de la provincial de Madrid, fue objeto de otra campaña de medida regional. En el primer estudio nacional se observó un elevado porcentaje de casas con niveles de radón en interior superiores a 200 y 400 Bq m^{-3} , que son los niveles de acción recomendados por la Unión Europea para viviendas de nueva construcción y ya construidas, respectivamente¹⁹. Dado el predominio de suelos graníticos en esta zona y el considerable aumento de la población (la población desde el año 1990 hasta 2000 aumentó de 500.000 a 1.500.000 habitantes), se inició en 2002 un estudio de radón que todavía sigue en marcha.

Las medidas realizadas hasta ahora muestran que un 14% de las viviendas tienen concentraciones de radón por encima de 400 Bq m^{-3} y un 30%, superiores a 200 Bq m^{-3} . La media geométrica de la concentración de radón en la sierra de Guadarrama es de 180 Bq m^{-3} lo que supone un valor cuatro veces superior al promedio nacional.

Villar de la Yegua

Quizá la zona de alto nivel de radiación más importante de España se encuentra entorno al pueblo de Villar de la Yegua, en la provincial de Salamanca. En este pueblo se encontró la mayor concentración de radón, 25,000 Bq m⁻³ en el interior de una vivienda, y la evaluación de la dosis de radiación recibida por fuentes naturales ha arrojado valores superiores a los 40 mSv al año. Las sucesivas series de medidas realizadas desde 1988 hasta ahora confirman a Villar de la Yegua como zona de alto nivel de radón²⁰. La media geométrica de la concentración de este gas en interiores es de 818 Bq m⁻³, 18,2 veces mayor que el promedio nacional. Por otro lado, los porcentajes de casas con concentraciones por encima 400 y 1000 Bq m⁻³ son del 75% y 25%, respectivamente.

Lo anteriormente expuesto indica claramente la necesidad de realizar estudios epidemiológicos acerca de los efectos que sobre la salud de los habitantes de esta zona tiene la exposición a las fuentes naturales de radiación.

DISCUSIÓN

Los resultados de las campañas de medida presentados constituyen una base de datos de gran utilidad para el desarrollo de estudios específicos de aquellas zonas en las que se han encontrado los niveles de radón más elevados. Del desarrollo de estos proyectos puede obtenerse un conocimiento más detallado de las principales fuentes de radón en las viviendas, que permite no solo diagnosticar con precisión la necesidad de aplicación de medidas de remedio, sino también decidir cuál de las posibles actuaciones es la más adecuada en cada caso.

Recientemente, el CSN ha establecido por vez primera criterios acerca de los niveles de acción de radón en viviendas y edificios de larga permanencia del público. En edificios ya construidos, el nivel de intervención para iniciar medidas de remedio es el recomendado por la Unión Europea de 400 Bq m⁻³ de concentración media anual de radón. Se contempla también la posibilidad de iniciar medidas de remedio sencillas y económicas, a partir de concentraciones medias anuales de 200 Bq m⁻³. Con respecto a los edificios de nueva construcción, en los que es más sencilla y efectiva la introducción de medidas de remedio, se aplicará como nivel de intervención el valor que se incorpore en el Código Técnico de la Edificación. Una vez incorporado dicho valor, este será aplicable a todos los edificios, sean viviendas o lugares de trabajo. En cualquier caso, el tema del radón ya no es solo un aspecto más de la investigación, sino que día a día se ha convertido en un problema de salud pública, para el que en un futuro próximo habrá que tomar las medidas oportunas.

REFERENCIAS

1. Quindós Poncela LS. Radón "un gas radioactivo de origen natural en su casa". Madrid: CSN - Universidad de Cantabria;1995.
2. Lubin JH, Boice JD, Edling C, Hornung RW, Howe G, Kunz E. Radon and lung cancer risk: a joint analysis of 11 underground miner studies. En: Public Health Services and National Institute of Health, eds. NIH;2007.
3. Darby S. Residential radon, smoking and lung cancer. *Radiat Res* 2005;163(6):696.
4. Brand KP, Zielinski JM, Krewski D. Residential radon in Canada: an uncertainty analysis of population and individual lung cancer risk. *Risk Anal* 2005; 25(2):253-69.
5. Zielinski JM, Carr Z, Krewski D, Repaholi M. World Health Organization s International Radon Project. *J Toxicol Environ Health A* 2006; 69(7):759-69.
6. Field RW, Krewski D, Lubin JH, Zielinski JM, Alavanja M, Catalan VS, Kloz JB, Letourneau EG, Lynch CF, Lyon JL, Sandler DP, Schoenberg JB, Steck DJ, Stolwijk JA, Weinberg C, Wilcox HB. An overview of the North American case-control studies of residential radon and lung cancer. *J Toxicol Environ A* 2006;69(7):599-631.
7. Darby S, Hill D, Aivinen A, Barros-Dios JM, Bausson H. Residential radon and lung cancer-detailes results of a collaborative analysis of individual data on 7148 persons with lung cancer and 14208 persons without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe. *Scan J Work, Environ and Health* 2006;32(Suppl 1):1-84.
8. Barros-Dios JM, Barreiro MA, Ruano-Ravina A, Figueiras A. Exposure to residential radon and lung cancer in Spain: a population-based case-control study. *Am J Epidemiol* 2002; 156:548-55.
9. Samet JM. Residential radon and lung cancer: end of the story? *J Toxicol Environ A* 2006; 69(7):527-31.
10. WHO. Handbook on indoor radon. A public health perspective;2010.
11. ICRP (International Commission on Radiological Protection). Lung cancer risk from indoor exposures to radon daughters. ICRP Publication 50, annals of the ICRP 17(1), Oxford: Pergamon Press;1987.
12. ICRP. Statement on Radon. November;2009.
13. Quindós LS, Fernández PL, Soto J. National survey on indoor radon in Spain, *Env Int* 1991;17:449-53.
14. Suárez E, Fernández JA. Project MARNA: Natural Gamma Radiation Map. *Revista de la Sociedad Nuclear Española* 1997:58-65.
15. Quindós LS, et al. Natural gamma radiation map (MARNA) and indoor radon levels in Spain. *Env Int* 2004;29:1091-6.
16. Miles J, Howarth C. Memorandum: Validation scheme for laboratories making measurements of radon in dwellings: 2000 revision. National Radiological Protection Board. NRPB-M1140. Chilton, Didcot, Oxfordshire OX11 0RQ; 2000.
17. Quindós LS, et al. Natural radiation exposure in the vicinity of Spanish nuclear power stations, *Health Phys* 2003;85(5):594-8.
18. Quindós LS, et al., Population dose in the vicinity of old Spanish uranium mines, *Sci of the Tot Env* 2004;329:283-8.
19. European Union. Council Directive 90/143/EC of 21 February 1990 on the protection of the public against indoor exposure to radon. *Official Journal of the European Communities*; 1990.
20. International Commission on Radiological Protection. Protection against radon-222 at home and at work. ICRP Publication 65. Oxford: Pergamon Press; 1994.

NOVEDADES DE INTERÉS EN LA FUTURA DIRECTIVA EUROPEA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

NEWS OF INTEREST IN THE FUTURE EUROPEAN DIRECTIVE FOR RADIOLOGICAL PROTECTION

David Cancio Pérez

Departamento de Medio Ambiente. CIEMAT

RESUMEN

El Grupo de Expertos Asesor de la Comisión Europea en Protección Radiológica, contemplado en el artículo 31 del Tratado EURATOM, aprobó a finales de febrero de 2010 los aspectos más importantes de la futura directiva.

Esta nueva directiva, además de que refunde en un único texto legislativo las cinco directivas anteriores, incorpora también la protección con respecto al gas radón sobre el cual solo existía anteriormente una recomendación.

Los aspectos de mayor interés son las nuevas recomendaciones relacionadas con la planificación de las emergencias, el nuevo marco del sistema de protección basado ahora en todos los tipos de situaciones, planificadas, existentes y de emergencias. Además, los aspectos específicos de industrias que procesan materiales radiactivos naturales (NORM) están integrados totalmente en el sistema de protección; se ha incluido una revisión importante de la protección en las aplicaciones médicas incluso ampliando lo que se establecía en la actual directiva sobre el tema; se tratan los aspectos específicos para la obtención de imágenes por motivos no médicos; se establecen nuevos requerimientos con respecto al radón en viviendas y lugares de trabajo y, por último, se dictan nuevos requerimientos para materiales de construcción de viviendas.

PALABRAS CLAVE: directiva europea; protección radiológica.

INTRODUCCIÓN

En el marco de la Jornada Técnica SESA sobre Radiaciones Ionizantes y Salud, organizadas por la Sociedad Española de Sanidad Ambiental y celebradas en Granada, el día 15 de abril de 2010, se presentaron las principales opiniones elaboradas por el grupo de expertos contemplado en el artículo 31 del Tratado EURATOM con respecto a la revisión/refundición de la Directiva Europea de Normas Básicas de Seguridad.

ABSTRACT

The Advisory Panel of the European Commission on Radiological Protection, referred to in Article 31 of EURATOM Treaty, adopted in late February of 2010 the most important aspects of the future directive.

This new Directive also adapts into a single legislative text the five previous directives, it also includes protection against gas radon on which there was previously only a recommendation.

The issues of greatest concern are the new recommendations related to emergency planning, the new framework of the protection system now based on all types of situations, planned, existing and emergency. In addition, specific aspects of processing industries naturally occurring radioactive materials (NORM) are fully integrated in the protection system has included a major overhaul of protection in medical applications including extending what is stated in the current directive on the subject, addresses the specific aspects for imaging non-medical reasons, which sets out new requirements with respect to radon in homes and workplaces and, finally, are issued new requirements for residential construction materials.

KEY WORDS: European Directive; radiological protection.

A continuación se repasan los aspectos más relevantes de la futura directiva europea de protección radiológica.

CONSIDERACIONES GENERALES

La Comisión Europea se ha comprometido a la simplificación de la legislación comunitaria en el ámbito de la protección radiológica y ha propuesto la consolidación en un solo texto de las siguientes directivas:

- Directiva del Consejo 96/29/EURATOM, de 13 de

mayo de 1996, por el que se establecen las normas básicas de seguridad para la protección de la salud de la población y los trabajadores contra los peligros de las radiaciones ionizantes.

- Directiva del Consejo 97/43/EURATOM, de 30 de junio de 1997, sobre protección de la salud de las personas contra los peligros de las radiaciones ionizantes en exposiciones médicas.
- Directiva del Consejo 89/618/EURATOM, de 27 de noviembre de 1989, sobre información de la población sobre medidas de protección sanitaria aplicables y las medidas que deben adoptarse en caso de emergencia radiológica.
- Directiva del Consejo 90/641/EURATOM, de 4 de diciembre de 1990, relativa a la protección operacional de los trabajadores exteriores expuestas al riesgo de las radiaciones ionizantes por intervención en zona controlada.
- Directiva del Consejo 2003/122/EURATOM, de 22 de diciembre de 2003, sobre el control de las fuentes radiactivas selladas de alta actividad y fuentes huérfanas.

Las últimas cuatro directivas se refieren a diferentes aspectos específicos complementarios a las normas básicas de seguridad.

Otros componentes importantes de la legislación comunitaria vinculante no se han incluido en el texto refundido. La directiva sobre el traslado de residuos radiactivos, que se ha actualizado recientemente (2006/117/EURATOM) tiene un carácter más bien administrativo que no encaja en una refundición con las necesidades efectivas de protección radiológica. La reciente Directiva del Consejo 2009/71/EURATOM sobre un marco para la seguridad nuclear complementa las normas básicas de seguridad, pero no fue tampoco considerada en la etapa actual. La refundición de las directivas con otros instrumentos jurídicos, por ejemplo, la Decisión del Consejo 87/600/EURATOM por la cual se establece el régimen para el rápido intercambio de información en caso de emergencia radiológica, o el reglamento sobre los productos alimenticios (reglamentos de la CE pos-Chernóbil sobre importación de alimentos contaminados y el reglamento EURATOM en el caso de un futuro accidente), no se efectúa porque las decisiones y reglamentos se aplican directamente, sin necesidad de adaptación en el ordenamiento jurídico nacional.

El grupo de expertos ha emitido un dictamen favorable sobre un proyecto de directiva EURATOM sobre el contenido radiactivo en el abastecimiento de agua potable. La misma podría haberse también integrado en el texto refundido. No obstante, el grupo fue informado de que este desarrollo forma parte ahora de un conjunto con una base jurídica común (CE-EURATOM), lo cual no es compatible con su inclusión en la refundición de las directivas EURATOM.

CONSIDERACIÓN DE LAS RECOMENDACIONES DE LA ICRP-103

El grupo de expertos ha aprovechado la ocasión de la refundición para tener en cuenta las nuevas recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), en particular la Publicación 103 (2007), así como actualizar ciertos requisitos de la legislación vigente a la luz de la experiencia operativa. En particular, con respecto a la ICRP se ha adoptado la distinción entre tres situaciones de exposición: planificada, existente y de emergencia. Ello ha requerido la reestructuración a fondo de las Normas.

CONSIDERACIÓN DEL RADÓN EN VIVIENDAS Y LUGARES DE TRABAJO

En la actualidad, el radón en las viviendas está excluido del ámbito de aplicación de la vigente Directiva 96/29/EURATOM y está cubierto por la Recomendación de la Comisión 90/143/EURATOM. En este tema se han producido recientes hallazgos en estudios epidemiológicos residenciales que confirman la existencia de riesgo de cáncer de pulmón a concentraciones del orden de 100 Bq m⁻³. En la refundición de la directiva se incorpora ahora la Recomendación de la Comisión 90/143/EURATOM de requisitos obligatorios, mientras que se deja la suficiente flexibilidad para su aplicación. La ICRP está analizando en la actualidad los factores de conversión de dosis en materia de concentraciones de gas radón y sus descendientes en la cadena de desintegración. El ICRP ha emitido una declaración en noviembre de 2009 y propone ahora un valor máximo para el nivel de referencia en las viviendas de 300 Bq m⁻³, en consonancia también con el manual de la Organización Mundial de la Salud (OMS) sobre el radón en interiores, publicado en el año 2009. La nueva directiva ha incorporado este valor para las viviendas existentes. El grupo de expertos considera que el valor para el nivel de referencia inferior propuesto por la OMS de 100 Bq m⁻³ es conveniente como un objetivo a largo plazo, pero que en la actualidad debe mantenerse el valor de 200 Bq m⁻³ para las viviendas nuevas.

CONSIDERACIÓN DE LA RADIATIVIDAD NATURAL

Las industrias de elaboración de materiales que contengan radionucleidos naturales están integradas plenamente en el mismo marco regulador como cualquier otra práctica. Se ha incorporado una lista explícita de los tipos de industrias y el enfoque del control regulador gradual de las exposiciones ocupacionales.

Además del control de radón en lugares de trabajo, viviendas y edificios públicos, la directiva incorpora

ahora también los requisitos sobre la radiactividad en los materiales de construcción. El grupo de expertos hace hincapié en esta nueva función que permite un enfoque coherente para todas las fuentes de radiación y refleja la orientación anterior publicada como *Radiation Protection 112*. Los expertos señalan que los requisitos son redactados de tal manera que no se espera que causen ningún problema para la libre circulación de materiales de construcción y que impliquen una carga excesiva para la industria de la construcción o para los organismos reguladores.

CONSIDERACIÓN DE LAS TRIPULACIONES AÉREAS

Se han mantenido los requisitos para las tripulaciones aéreas, considerados como una situación de exposición planificada en la actual Directiva 96/29/EURATOM. El ámbito de aplicación de la directiva incluye ahora también la operación de las naves espaciales. La exposición de la tripulación en el espacio puede ser manejada como una exposición especialmente autorizada.

CONSIDERACIONES SOBRE EXENCIÓN Y DESCLASIFICACIÓN

Para una armonización con las normas básicas internacionales, los valores por defecto incluidos en la directiva para la exención y desclasificación de materiales con una concentración muy baja de actividad son los establecidos en la Publicación del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA RS-G-1.7), también denominadas Colección de Normas de Seguridad del OIEA, en lugar de los anteriores incluidos en la publicación *Radiation Protection 122*. Sin embargo, varios expertos consideran que la orientación de la guía mencionada tiene una mejor base científica, en particular para los valores de exención para radionucleidos naturales.

En la directiva se respalda el principio de prudencia, en el que se establece de forma inequívoca que los valores de RS-G-1.7 de radionucleidos naturales no se aplican al reciclaje de residuos en material de construcción o para situaciones donde haya un riesgo de contaminación de las aguas subterráneas.

PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

El objeto y la finalidad general de las normas básicas de seguridad es la protección de la salud de la población y los trabajadores contra los peligros de las radiaciones ionizantes, lo que incluye la protección del medio ambiente humano como una vía de fuentes ambientales de la exposición del hombre. De acuerdo con

las recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica, del año 2007 (Publicación ICRP-103), ahora se considera que esto debe ser complementado en su caso con especial consideración de la exposición de la biota en el medio ambiente en su conjunto. La ampliación del ámbito de aplicación de la Directiva EURATOM sobre normas básicas de seguridad permite una mejor integración de la legislación EURATOM con la legislación medioambiental adoptada en virtud de disposiciones del Tratado de la Unión Europea, así como la observancia de los acuerdos internacionales.

Si bien el capítulo 3 "Seguridad y salud", del Tratado EURATOM, solo se refiere a la protección de la salud de los trabajadores y del público, las políticas para la protección del hombre y el medio ambiente deberían ser coherentes. Por ejemplo, los criterios ambientales, así como restricciones de dosis, deben ser considerados para la autorización de los vertidos de efluentes radiactivos. Por lo tanto, las exigencias de protección del medio ambiente se han incorporado también a la directiva en esta etapa.

El grupo de expertos apoya este proceso y toma nota de la reciente Publicación ICRP-108: *Environmental Protection: The concept and use of Reference Animals and Plants*, relativa al uso de los animales y las plantas de referencia, pero señala que actualmente no existe una metodología aceptada para la evaluación del impacto de la radiación sobre las especies no humanas. Los expertos también consideran que la protección del medio ambiente no debe implicar un gran nivel de control regulador y que los medios para la demostración de cumplimiento deben ser proporcionales a la relevancia de la cuestión que se trate. El grupo de expertos opina que debería dejarse tiempo para la aplicación de esos requerimientos.

EXPOSICIÓN DE EMERGENCIA

En cuanto a la gestión de situaciones de exposición de emergencia, el primer enfoque basado en los niveles de intervención ha sido sustituido por un sistema más amplio que abarca cuatro aspectos:

- El análisis de la amenaza.
- El sistema general de gestión de emergencias.
- Los planes de respuesta en emergencia previstos.
- Las estrategias de planificación previa para la gestión de cada caso postulado.

De acuerdo con la ICRP-103, cada estrategia debe tener como objetivo mantener las dosis por debajo de un nivel de referencia y optimizar las acciones de protección disponible, en vez de justificar todas las acciones sobre la base de los niveles de intervención. La introducción de niveles de referencia de emergencia y situaciones de exposición existentes permite la protección

del individuo, así como otros criterios sociales de la misma manera como los límites de dosis y restricciones de dosis para situaciones de exposición planificada.

La directiva también refuerza los requisitos para la cooperación entre los Estados miembros en la planificación y respuesta ante emergencias. La directiva aborda más a fondo la información, formación y protección de los trabajadores de emergencia, dentro del marco general de la exposición ocupacional.

OPTIMIZACIÓN Y LIMITACIÓN DE DOSIS

El título 3 de la directiva confirma los principales elementos del sistema de protección: justificación de las prácticas, la optimización de la protección y la limitación de las dosis individuales. Esto no es esencialmente diferente de la actual directiva. Se da un mayor énfasis a la aplicación de la optimización *As Low As Reasonably Achievable* (Tan baja como razonablemente sea posible) (ALARA) en todas las situaciones de exposición, en todas las categorías de exposición. Se ha incorporado texto adicional sobre el uso más importante del concepto de *restricción de dosis y niveles de referencia*.

Los límites de dosis para las prácticas se mantienen, pero el límite anual de dosis para la exposición ocupacional es ahora de 20 mSv por año. No hay necesidad de mantener el promedio en cinco años, salvo en circunstancias especiales especificadas en la legislación nacional.

Todavía está en discusión la necesidad de reducir el límite de dosis para el cristalino del ojo. Por razones de precaución, la directiva amplía el principio de optimización para que se aplique también a dosis de órganos a fin de mantener las dosis tan bajas como sea razonablemente obtenible. Por otra parte, la directiva exige la puesta a punto de sistemas adecuados de control individual para las dosis de la lente del ojo. La ICRP está elaborando una recomendación sobre este tema.

SERVICIOS DE EXPERTOS Y REQUISITOS DE FORMACIÓN

La directiva define las funciones y responsabilidades de los servicios y los expertos que deben participar para garantizar que los aspectos técnicos y prácticos de la protección radiológica se realicen con un alto nivel de competencia. La directiva concreta el papel de los expertos de protección radiológica (previamente denominados expertos cualificados) y de los expertos en física médica e introduce la función del oficial de protección radiológica, que opera dentro de la plantilla de operación, pero que informa directamente a los órganos de dirección y gestión.

Los requisitos de información, formación y educación se fortalecen y se elaboró un título específico (Título 5).

EXPOSICIÓN OCUPACIONAL

En lo que respecta a la exposición ocupacional, la directiva ha mantenido sin modificaciones la mayoría de los requisitos, a excepción de algunos que se han reestructurado para distinguir entre las responsabilidades de la empresa y del empleador. Ello era necesario debido a la incorporación de la directiva de trabajadores externos en la refundición.

Se mantiene la clasificación de las zonas controladas y supervisadas y las categorías de trabajadores. Las modalidades concretas de los trabajadores externos pueden ampliarse para abarcar también a las zonas supervisadas. En lo que respecta al registro de los datos relativos a las dosis individuales en una base nacional centralizada, el grupo de expertos alienta a la Comisión y a los Estados miembros a desarrollar un pasaporte europeo de radiación, en especial con respecto a la libre circulación de los trabajadores exteriores.

EXPOSICIÓN EN LA OBTENCIÓN DE IMÁGENES PARA FINES NO MÉDICOS

Las llamadas exposiciones *médico-legales*, introducidas en la Directiva médica (97/43/EURATOM), han sido claramente identificadas como una exposición liberada de las personas para otros fines no médicos. Se ha elaborado la necesidad de justificación de estas prácticas en tres etapas, como se establece para las exposiciones médicas. Se incluye la diferenciación entre los procedimientos aplicados por personal médico, con equipo médico, y los procedimientos aplicados por personal no médico, que no utilizan equipamiento médico (por ejemplo, en el control de seguridad física). Aunque, en general, debe aplicarse las limitaciones correspondientes para la exposición pública, deberían permitirse excepciones para algunos procedimientos específicos de exposición no médica que se llevan a cabo en un ambiente médico (por ejemplo, la búsqueda de drogas en el cuerpo).

EXPOSICIONES PARA FINES MÉDICOS

La categoría de exposiciones médicas se ha redefinido para incluir la exposición de pacientes o individuos asintomáticos destinadas a beneficiar su salud o bienestar, además de la exposición de confortadores y cuidadores, así como voluntarios en investigación biomédica. El título de las exposiciones médicas se mantiene esencialmente sin modificación alguna, pero da nuevo énfasis a la necesidad de justificación de la exposición de los individuos asintomáticos, a la información a proporcionar a los pacientes y sobre los proce-

dimientos de radiología intervencionista, los niveles de referencia de diagnóstico y las indicaciones de dosis en los dispositivos. Una nueva característica es la consideración detallada de las exposiciones accidentales y la función de la garantía de calidad y el análisis de riesgo en la radioterapia para evitar esos incidentes.

EXPOSICIÓN DE LOS MIEMBROS DEL PÚBLICO

La sección de la exposición al público es casi exactamente igual a la del título 8 de la actual Directiva 96/29/EURATOM. Sin embargo, la directiva ahora da indicaciones más precisas para la elaboración de las autorizaciones de vertido, con referencia a la Recomendación de la Comisión 2004/2/EURATOM.

FUENTES SELLADAS Y FUENTES HUÉRFANAS

Como resultado de las normas del procedimiento de refundición no se han introducido las obligaciones que no habían sido parte de las directivas anteriores. En particular, no se han hecho cambios importantes con respecto a la última directiva sobre fuentes selladas de alta actividad y las fuentes huérfanas (2003/122/EURATOM). Como excepción, amplían algunos de los requisitos generales comunes para cualquier fuente sellada, cuando se considere que son parte de buenas prácticas. Por otra parte, los expertos señalan que aún hay problemas con las fuentes huérfanas que podrían resolverse de manera más eficiente a lo largo de las líneas del llamado *proto-*

colo español, y que ha habido importantes casos de contaminación de metal importado de terceros países. El grupo de expertos considera que es oportuno reforzar los requisitos de las fuentes huérfanas en la Directiva 2003/122/EURATOM, y para introducir el requisito de la notificación de incidentes con fuentes huérfanas o la contaminación de metales. El grupo de expertos recomienda indagar más a fondo los esfuerzos internacionales en este ámbito para responder a las conclusiones de la conferencia celebrada en Tarragona, en febrero de 2009.

COEFICIENTES DE DOSIS

La ICRP todavía no ha publicado nuevos coeficientes de dosis para la incorporación de radionucleidos por inhalación o ingestión por parte de las personas ocupacionalmente expuestas y para el público. El proceso puede llevar más de dos o tres años; mientras tanto, se recomienda que se haga referencia al mismo conjunto de valores que se incluyan en las normas internacionales, que se prevé puedan ser también copatrocinados por la Comisión Europea.

CONCLUSIÓN GENERAL SOBRE LA REVISIÓN/REFUNDICIÓN DE DIRECTIVAS

En conjunto, el grupo de expertos concluye que la refundición ha logrado sus objetivos y que permitirá más coherencia y una más amplia protección contra la radiación en todas las situaciones y categorías de exposición.

RIESGOS DERIVADOS DE LA EXPOSICIÓN A DOSIS BAJAS DE RADIACIÓN IONIZANTE

RISKS OF LOW DOSE IONISING RADIATION EXPOSURES

Almudena Real Gallego

Unidad de Protección Radiológica del Público y del Medioambiente. Centro de Investigaciones Energéticas Medio Ambientales y Tecnológicas (CIEMAT)

RESUMEN

La radiación ionizante ha mostrado tener diversas aplicaciones beneficiosas para el hombre, pero también puede dañar la salud de las personas y el medio ambiente. Para proteger adecuadamente al hombre de los posibles efectos nocivos de la radiación ionizante es imprescindible conocer en detalle los efectos biológicos producidos por esta, sus características y los distintos factores que influyen en dichos efectos. Ese es el objetivo de este artículo: describir el estado actual del conocimiento sobre los efectos biológicos que puede producir la radiación ionizante, con especial énfasis en aquellos efectos que se producen tras la exposición a dosis bajas.

PALABRAS CLAVE: radiación ionizante; riesgos de dosis bajas; efectos estocásticos; efectos deterministas; epidemiología.

INTRODUCCIÓN

Desde su descubrimiento, la radiación ionizante ha mostrado tener diversas aplicaciones beneficiosas para el hombre, pero también puede producir efectos dañinos tanto en la salud de las personas como en el medio ambiente. Para poder protegernos de manera adecuada de los efectos nocivos de la radiación ionizante es imprescindible conocer tan en detalle como sea posible los efectos producidos por esta, sus características y los diferentes factores que les influyen.

Cuando la radiación incide sobre una célula puede producir ionizaciones en cualquiera de sus componentes, si bien son las que ocurren en el ADN (ácido desoxirribonucleico) las que principalmente dan lugar a efectos biológicos radioinducidos, debido a las repercusiones que el daño de esta molécula tiene para la célula.

Las radiaciones ionizantes pueden producir muy diversas lesiones en el ADN, cuya complejidad y número

ABSTRACT

Although ionising radiation has been shown to have several beneficial applications for humans, it can also produce detrimental effects in humans and the environment. To adequately protect man and environment from the potential harmful effects of ionising radiation, is essential to know in detail the biological effects produced by it, its characteristics and the various factors that influence these effects. That is the objective of this article, describe the current status of knowledge about biological effects induced by ionising radiation, with special emphasis on those effects occurring after low dose exposures.

KEY WORDS: ionising radiation; low dose risks; stochastic effects; deterministic effects; epidemiology.

dependerá, entre otras variables, de la transferencia lineal de energía y de la dosis de la radiación incidente. El término transferencia lineal de energía o LET (del inglés *Linear Energy Transfer*) expresa la cantidad de energía media cedida por una radiación en una distancia de una micra, siendo sus unidades el $\text{keV}\cdot\mu\text{m}^{-1}$.

Entre las lesiones que puede producir la radiación en el ADN se encuentran las roturas de una o de las dos cadenas de ADN, alteraciones a nivel de las bases que componen el ADN (recombinaciones, sustituciones, deleciones), entrecruzamientos o rotura de los puentes de hidrógeno (Tabla 1). Existen estudios que muestran que la complejidad del daño producido en el ADN aumenta con la LET y que esta complejidad puede diferenciar el daño producido por la radiación de aquel producido de forma espontánea o inducido por otros agentes.

Cuando tras una irradiación la célula detecta un daño en su ADN, pone en funcionamiento los mecanismos de reparación para revertir ese daño. La célula dispone de

Correspondencia: Almudena Real Gallego · Unidad de Protección Radiológica del Público y del Medioambiente · Centro de Investigaciones Energéticas Medio Ambientales y Tecnológicas (CIEMAT) · Av. Complutense, 22 (Edificio 3), Madrid 28040 · Tel.: 91 346 67 50, Fax: 91 346 61 21 · almudena.real@ciemat.es

TABLA 1. Frecuencia estimada de daño en el ADN en células de mamíferos causado por exposición a radiación de tipo rayos X o rayos gamma

Tipo de daño	Frecuencia (número de efectos por célula por Gy)
Roturas de cadena sencilla	1000
Daño en bases	500
Roturas de doble cadena	40
Entrecruzamientos ADN-proteína	150

diversos mecanismos de reparación, cuya descripción detallada, dada su complejidad, escapa de los objetivos de este artículo. La adecuada reparación del daño depende de la complejidad del daño producido, siendo menor la probabilidad de que estas se reparen cuanto mayor sea su complejidad. Si la lesión no es reparada completamente, el material genético de la célula irradiada y de su descendencia estará alterado (célula mutada). El daño radioinducido en el ADN es en ocasiones tan severo que produce la muerte de la célula. Ambas situaciones, mutación o muerte celular, pueden ocasionar efectos biológicos en el organismo (Figura 1).

CLASIFICACIÓN DE LOS EFECTOS BIOLÓGICOS RADIOINDUCIDOS

La mayoría de los efectos adversos para la salud producidos por la exposición a radiación ionizante pueden agruparse en dos categorías generales: *deterministas* (también denominadas reacciones tisulares nocivas) y *estocásticos*^{1,2}.

Efectos deterministas

Si como consecuencia de la irradiación se produce la muerte de un número elevado de células en un órgano o tejido, este sufrirá una pérdida de función, efecto que

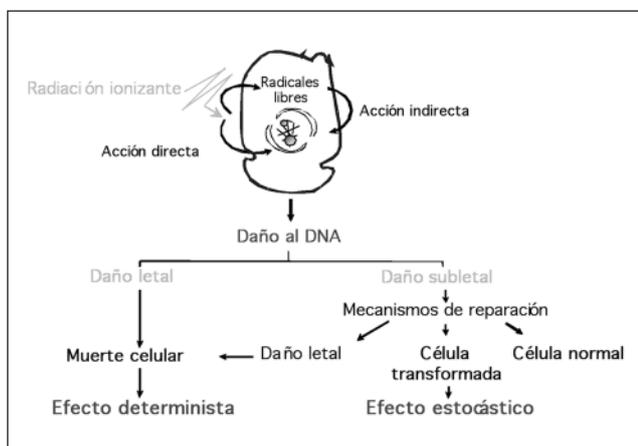


FIGURA 1. Interacción de la radiación ionizante con el material genético de la célula: efectos biológicos radioinducidos.

se conoce como determinista (Figura 1). La gravedad de los efectos deterministas es proporcional a la dosis de radiación recibida, siempre y cuando esta sea superior a la dosis umbral, dosis que establece el límite entre la aparición o no del efecto. Estos efectos ocurren tras la exposición a dosis relativamente altas, y se ponen de manifiesto a corto-medio plazo (Tabla 2). Este tipo de efectos son de naturaleza somática, no pudiendo heredarse.

Los efectos de la radiación en la célula dependen de numerosos factores físicos (dosis, tasa de dosis, LET), químicos (presencia o ausencia de oxígeno) y biológicos (capacidad proliferativa, fase del ciclo celular en el momento de la irradiación).

En lo que se refiere a órganos o tejidos, la radiosensibilidad va a depender tanto de la sensibilidad inherente de las células que lo componen, como de la cinética de las poblaciones celulares que lo integran. La tabla 3 resume los principales efectos deterministas producidos en tejidos u órganos, tras exposición aguda a radiación de baja LET (rayos X o rayos gamma).

Al considerar los efectos deterministas en el individuo hay que diferenciar entre adultos y organismos en desarrollo, por su distinta radiosensibilidad. En el organismo adulto, una irradiación aguda de cuerpo entero con una fuente externa produce signos, síntomas y un cuadro clínico variable, que se conoce con el nombre de síndrome de irradiación. Se pueden distinguir tres etapas:

- *Prodrómica*: Comprende los síntomas de las primeras 48 horas tras la irradiación y es consecuencia de la reacción del sistema nervioso autónomo. Caracterizado por náuseas, vómitos, diarreas, cefaleas, vértigo, alteración de los órganos de los sentidos, taquicardia, insomnio, etc. Puede durar desde algunos minutos hasta varios días.
- *Latente*: Caracterizada por la ausencia de síntomas y varía desde minutos hasta semanas, dependiendo de la dosis recibida.
- *De enfermedad manifiesta*: Con síntomas concretos, en función de los tejidos y órganos más afectados por la radiación. Según el órgano que contribuye mayoritariamente a la muerte del individuo, se distinguen tres síndromes posirradiación: de médula ósea, gastrointestinal y de sistema nervioso central. La tabla 4 resume sus características³.

En el organismo en desarrollo, la exposición a radiación produce efectos diferentes a los descritos anteriormente en el individuo adulto. Así, los efectos que pueden producirse en embriones y fetos son: a) muerte del organismo en desarrollo; b) anomalías congénitas que se manifiestan en el nacimiento y que son producidas por efecto de la exposición a radiación en útero, no siendo heredadas; c) anomalías congénitas que no se manifiestan en el momento del nacimiento, sino a edades más avanzadas. La aparición de un tipo u otro de efecto en el embrión o feto

TABLA 2. Principales características de los efectos estocásticos y deterministas inducidos por exposición a radiación ionizante

	Efectos estocásticos	Efectos determinantes
Mecanismo	Lesión subletal (una o pocas células)	Lesión letal (muchas células)
Naturaleza	Somática o hereditaria	Somática
Gravedad	Independiente de dosis	Dependiente de dosis
Dosis umbral	No	Sí
Relación dosis-efecto	Lineal-cuadrática	Lineal
Aparición	Tardía	Corto-medio plazo

TABLA 3. Principales efectos deterministas inducidos por radiación en órganos y tejidos

Tejido	Efecto	Periodo de latencia aprox.	Umbral aprox. (Gy)	Dosis efectos severos	Causa
Sistema hematopoyético	Infecciones Hemorragias	2 semanas	0,5	2,0	Leucopenia Plaquetopenia
Sistema inmune	Inmunosupresión Infección sistémica	Algunas horas	0,1	1,0	Linfopenia
Sistema gastrointestinal	Deshidratación Desnutrición	1 semana	2,0	5,0	Lesión del epitelio intest.
Piel	Escamación	3 semanas	3,0	10,0	Daño en la capa basal
Testículo	Esterilidad	2 meses	0,2	3,0	Aspermia celular
Ovario	Esterilidad	< 1 mes	0,5	3,0	Muerte interfásica del oocito
Pulmón	Neumonía	3 meses	8,0	10,0	Fallos en la barrera alveolar
Cristalino	Cataratas	> 1 año	0,2	5,0	Fallos en la maduración
Tiroides	Deficiencias metabólicas	< 1 año	5,0	10,0	Hipotiroidismo
Sistema nervioso central	Encefalopatías y mielopatías	Muy variable según dosis	15,0	30,0	Demielinización y daño vascular

TABLA 4. Características de los tres síndromes que pueden aparecer en el hombre en la etapa de enfermedad manifiesta tras una irradiación aguda de cuerpo entero (baja LET)

	Dosis	Prodrómica	Latencia	Enfermedad manifiesta	Muerte
Sistema de la médula ósea	3-5 Gy	Pocas horas	Algunos días-3 semanas	Infecciones, hemorragias, anemia	30-60 días (>3 Gy)
Síndrome gastrointestinal	5-15 Gy	Pocas horas	2-5 días	Deshidratación, desnutrición, infecciones	10-20 días
Síndrome del sistema nervioso central	>15 Gy	Minutos	Escasas horas	Convulsiones, ataxia, coma	1-5 días

depende en gran medida del momento de la gestación en el que tenga lugar la irradiación (Figura 2).

Efectos estocásticos

Como consecuencia de la irradiación, la célula puede no morir, sino verse modificada (mutada), lo que podrá

llevar a la aparición de un efecto estocástico (Figura 1). Si la mutación ocurre en células germinales puede transmitirse a la descendencia (efecto estocástico hereditario); mientras que si la célula afectada es somática, el efecto se producirá en la persona irradiada (efecto estocástico somático). Estos efectos ocurren tras exposición a dosis o tasas de dosis bajas de radiación y

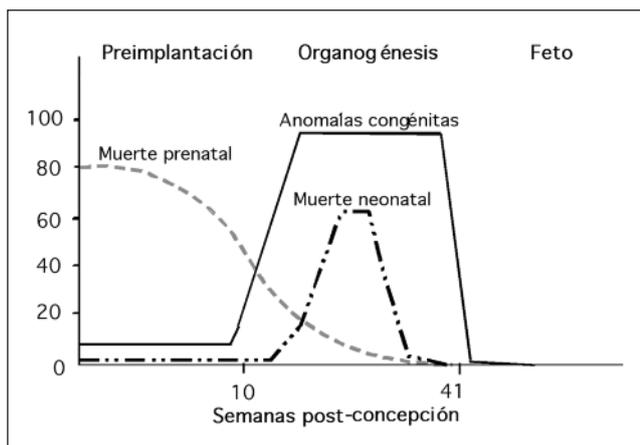


FIGURA 2. Efectos de la exposición aguda a radiación de baja LET en individuos en desarrollo, en función del momento en el que tiene lugar la irradiación.

la probabilidad de que ocurran, pero no su gravedad, aumenta con la dosis de radiación recibida. La gravedad del efecto depende de factores como el tipo de célula afectado y el mecanismo de acción del agente implicado. Para la estimación del riesgo de efectos estocásticos se considera que no existe dosis umbral para su aparición, aunque sigue existiendo cierta controversia al respecto (Tabla 2).

a) *Efectos estocásticos somáticos: cáncer*⁴. El potencial carcinogénico de la radiación ionizante se reconoció poco después de que los rayos X fueran descubiertos por Roentgen en 1895. Hoy día se sabe que el efecto estocástico somático más relevante tras irradiación con dosis bajas es el aumento en la incidencia de cáncer.

El término cáncer agrupa un conjunto de enfermedades caracterizadas por el crecimiento excesivo y descontrolado de células, que invaden y dañan tejidos y órganos. La transición desde una célula normal a una maligna es un proceso muy complejo que implica múltiples cambios, interviniendo multitud de factores celulares y ambientales. Entre los modelos desarrollados para describir el proceso carcinogénico, el más aceptado es el modelo multietapa, el cual considera que el desarrollo de cáncer ocurre en cuatro etapas: iniciación, conversión, promoción y progresión. Aunque actualmente no se conocen en su totalidad los mecanismos implicados en cada una de las etapas del proceso carcinogénico, sí se sabe que la radiación actúa fundamentalmente en la etapa de iniciación, si bien potencialmente podría afectar cualquiera de las etapas del desarrollo de un cáncer.

b) *Efectos estocásticos heredables*⁵. La radiación puede producir mutaciones en células germinales masculinas o femeninas, las cuales pueden transmitirse a la descendencia del individuo irradiado, ocasionando alteraciones genéticas de muy diverso tipo y gravedad.

Hasta el momento, los efectos estocásticos heredables no se han detectado en poblaciones humanas expuestas a radiación. Sin embargo, existen evidencias sólidas de estudios experimentales en animales y plantas de que la radiación puede inducir efectos genéticos, y parece poco probable que los humanos sean una excepción. La estimación del riesgo de efectos heredables tras una irradiación se basa en el marco general de las enfermedades genéticas que ocurren de forma natural en las personas. El objetivo es predecir los efectos que producirá una pequeña dosis de radiación (que causa un aumento en la frecuencia de mutaciones) sobre la incidencia de enfermedades genéticas en la población.

RIESGOS DERIVADOS DE LA IRRADIACIÓN CON DOSIS BAJAS. ESTUDIOS EPIDEMIOLÓGICOS

Para estimar el riesgo de cáncer tras la exposición a dosis bajas de radiación ionizante se dispone de datos procedentes de estudios epidemiológicos realizados en poblaciones expuestas tanto a dosis o tasas de dosis altas como a dosis o tasas de dosis bajas de radiación (Figura 3). Existen numerosos estudios en animales de laboratorio que, si bien son de utilidad para conocer los mecanismos de acción de la radiación y los factores que intervienen, no son de utilidad en la estimación cuantitativa del riesgo de cáncer en humanos, ya que entre distintas especies existe una gran diferencia de radiosensibilidad.

Los valores de riesgo de cáncer utilizados en el actual sistema de protección radiológica han sido estimados a partir de los resultados del estudio de los supervivientes de las bombas atómicas de Hiroshima y Nagasaki (HyN)⁶, al considerarse la muestra más completa. Dicha muestra está compuesta por un número elevado de personas (más de 600.000), de ambos sexos y de todas las edades y que fueron expuestas a un rango de dosis muy amplio, distribuidas de manera bastante uniforme en el organismo expuesto. Sin embargo, el hecho de que la irradiación ocurriera a tasas de dosis muy altas hace necesario que los valores de riesgo estimados en esta población se extrapolen, utilizando modelos empíricos, para obtener los valores de riesgo a tasas de dosis bajas, que son las más relevantes para fines de protección radiológica. Además, puesto que aún hay supervivientes de las bombas en HyN, los valores de riesgo obtenidos en esta población han de proyectarse para estimar el riesgo de cáncer durante toda la vida de un individuo. Por último, los valores de riesgo estimados en la población japonesa han de transferirse para estimar el riesgo de cáncer en la población mundial.

Existen también estudios epidemiológicos en poblaciones expuestas a dosis y tasas de dosis bajas de ra-

▷ Estudios epidemiológicos a dosis, tasas de dosis altas:
Supervivientes bombas atómicas de Hiroshima y Nagasaki.
Pacientes (espondilitis anquilosante, cáncer de cérvix).
Trabajadores (mineros).

▷ Estudios epidemiológicos a dosis, tasas de dosis bajas:
Exposición ocupacional (trabajadores de la industria nuclear)
Personas sometidas a radioterapia: irradiación de tejidos sanos.
Población de zonas con alto fondo radiactivo (China, Brasil, India).

▷ Estudios experimentales:
Aportan información de interés sobre mecanismos de acción, forma de la curva dosis-respuesta y factores que afectan a la respuesta celular.

FIGURA 3. Información disponible sobre los efectos carcinogénicos de la radiación.

diación (Figura 3). Es importante recordar que son muchos los agentes que pueden inducir cáncer, siendo la radiación uno más de ellos (Figura 4). Además, se sabe que la incidencia de cáncer aumenta con la edad de las personas. Cuando se lleva a cabo un estudio epidemiológico en poblaciones expuestas a dosis y tasas de dosis bajas de radiación es importante contar con un grupo control adecuado y que la muestra analizada sea lo suficientemente grande como para permitir que los resultados obtenidos tengan un gran poder estadístico. Además, hay que tener en cuenta posibles sesgos y factores de confusión que puedan estar influyendo en los resultados obtenidos, la duración del estudio al ser crítica a la hora de detectar efectos de la radiación y la precisión con la que el riesgo ha sido estimado en el estudio epidemiológico (intervalos de confianza).

A finales de 2005, Cardis y colaboradores⁷ publicaron los resultados del mayor estudio realizado hasta la fecha sobre estimaciones directas de riesgo de cáncer en una población expuesta de forma crónica a dosis bajas de radiación. Se realizó un estudio retrospectivo de mortalidad por cáncer en cohortes de trabajadores de la industria nuclear de 15 países, entre ellos España. Se monitorizaron para irradiación externa 407.391 trabajadores. Los resultados del estudio mostraron que para cánceres distintos a leucemia el exceso de riesgo relativo era de 0,97 por Sv (IC95%: 0,14-1,97). Para leucemias, excluyendo leucemia linfocítica crónica, el exceso de riesgo relativo fue de 1,93 por Sv (<0-8,47). Los autores concluyeron que las estimaciones de riesgo realizadas con los datos de este estudio eran algo mayores, aunque estadísticamente compatibles, que las estimaciones de riesgo usadas para los actuales estándares de protección radiológica. Este estudio concluyó que el 1-2% de las muertes de cáncer en cohortes de trabajadores podía atribuirse a radiación. Las estimaciones hechas con los datos de los supervivientes de HyN apuntan a que este valor era del 5%, algo superior pero del mismo orden que el estimado por Cardis y colaboradores.

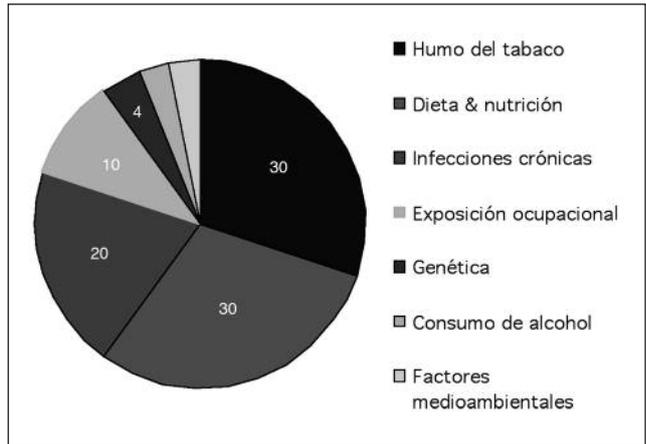


FIGURA 4. Principales agentes que pueden inducir cáncer.

Para conocer el detrimento total causado por la exposición a radiación ionizante en las personas, también se estima el riesgo de que se produzcan efectos estocásticos heredables. Así, se estiman los efectos de la radiación en la incidencia de enfermedades genéticas en la población. El método utilizado para la estimación del riesgo genético es el de la *dosis dobladora* (DD), la cual se define como la dosis de radiación necesaria para producir tantas mutaciones como las que ocurren espontáneamente en una generación. Se calcula mediante el cociente de la frecuencia espontánea media y la frecuencia inducida media de mutaciones. Hasta 1993, el cálculo de la DD se basaba enteramente en datos de ratón sobre frecuencias de mutación espontánea e inducida. En las últimas estimaciones realizadas por UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) en 2001 se utilizan las frecuencias de mutación espontánea en genes humanos y la frecuencia de mutaciones inducidas por radiación en genes de ratón.

Considerando la frecuencia media de mutación espontánea en humanos ($2,95 \pm 0,64 \times 10^{-6}$ por gen por generación) y la frecuencia media de inducción de mutaciones en ratón ($0,36 \pm 0,10 \times 10^{-5}$ por locus por Gy), la dosis dobladora resultante es de $0,82 \pm 0,29$ Gy, utilizándose para las estimaciones de riesgo el valor de 1 Gy.

A partir de los riesgos estimados en estudios epidemiológicos, tanto de cáncer como de efectos heredables, se establecen los límites de dosis a los que tanto los trabajadores como el público están sometidos por ley y que constituyen uno de los tres pilares sobre los que se sustenta el actual sistema de protección radiológica, junto con la justificación y la optimización.

BIBLIOGRAFÍA

1. Fernández Soto JM, Real Gallego A, Vañó Carruana E. Efectos Biológicos de las radiaciones ionizantes. Protección radiológica operacional. En: De Cura JL, Pedraza S,

- Cayete A, editores. Radiobiología esencial. Médica Panamericana D.L.:2009, p. 27-34.
2. Bueren JA, Real A. Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes. En: CIEMAT editores. Protección Radiológica Aplicada a Instalaciones Nucleares;1996, p. 179-228.
 3. Güenechea G, Real A. Efectos tempranos producidos por las radiaciones ionizantes. Síndrome hematopoyético. En: CIEMAT editores. Hematología Experimental:1995, p. 9-1/9-22.
 4. UNSCEAR. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Vol. II. Effects. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation report to the General Assembly with scientific annexes. New York : United Nations; 2000.
 5. UNSCEAR. Hereditary Effects of Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation report to the General Assembly with scientific annexes. New York: United Nations; 2001.
 6. Kodama K, Kasagi F, Shimizu Y, Nishi N, Soda M, Suyama A, Okubo T. Long-term health consequences of atomic bomb radiation: RERF Life Span Study Original Research Article. Int Congress Series 2007;1299:73-80.
 7. Cardis E, Vrijheid M, Blettner M, Gilbert E, et al. Risk of cancer after low doses of ionising radiation: retrospective cohort study in 15 countries. BMJ 2005;331:77-82.

SOCIEDAD ESPAÑOLA



DE SANIDAD AMBIENTAL

SESA: UN FORO DE INVESTIGACIÓN Y DEBATE

La Sociedad Española de Sanidad Ambiental se constituyó con el objetivo prioritario de servir de foro para agrupar a las personas físicas o jurídicas, cuyas actividades profesionales o científicas se desenvuelven en el campo de la Sanidad Ambiental. Su finalidad es favorecer el intercambio de conocimientos en los campos de la investigación, gestión, formación de personal o cualquier otro que contribuya al desarrollo y difusión de la Sanidad Ambiental.

Con independencia, objetividad y profesionalidad, la SESA quiere comprometerse con la sociedad española a dar una respuesta científica a los rápidos cambios que se producen en el campo de la Salud y Medio Ambiente, tan necesitado de foros de exposición, intercambio y comunicación, centrándose en el estudio e identificación de los factores de riesgo ambientales y los efectos sobre la salud, aportando soluciones realistas y efectivas.

¿QUÉ ACTIVIDADES DESARROLLA LA SESA?

- Grupos de trabajo
- Jornadas científicas
 - Seminarios
 - Mesas redondas
- Revista de Salud Ambiental
- Información y estudios de Sanidad Ambiental

¿CÓMO PUEDES ASOCIARTE?

Dirigiéndote a la secretaría técnico-administrativa de la SESA:

MasterCongresos S. L.
 C/ Ramón y Cajal 5 · 28100, Alcobendas (MADRID)
 Telf.: 911 10 37 53
sesa@mastercongresos.com

RIESGOS VINCULADOS A LA EXPOSICIÓN AL RADÓN

RISKS RELATED TO EXPOSURE TO RADON

Juan Miguel Barros Dios^{1,2}

¹Área de Medicina Preventiva y Salud Pública. Facultad de Medicina. Universidade de Santiago de Compostela

²Laboratorio de Radón de Galicia. Hospital Clínico Universitario

RESUMEN

Se comentan las diferentes evidencias científicas de que el radón y sus descendientes de vida media corta son responsables de la aparición de un número no desdeñable de cánceres de pulmón entre la población expuesta en domicilios y edificios públicos (exposición laboral). Asimismo, se traza una pequeña aproximación al camino recorrido por este conocimiento y su difícil aceptación por parte de las diferentes Administraciones de numerosos países y, en concreto, de España, así como las diversas investigaciones que el Grupo Galego do Radon y el Laboratorio de Radón de Galicia, del Área de Salud Pública, de la Universidad de Santiago de Compostela, llevan aportando a ese conocimiento científico. Por último, se valoran las escasas iniciativas legislativas sobre el problema en España.

PALABRAS CLAVE: radón, cáncer de pulmón, prevención, legislación.

INTRODUCCIÓN

Las partículas alfa son emisiones de elementos radiactivos que están formadas por dos protones y dos neutrones, o lo que es lo mismo, un núcleo de helio (^4He), lo que las convierte en las más pesadas de los tres tipos existentes y, por ello, menos penetrantes que las partículas beta y gamma. Esta fue quizás la causa de cierto escepticismo inicial para aceptar su potencial mutagénico y cancerígeno que posteriormente se demostraría en estudios sobre animales y tejidos humanos^{1,2,3}. Todo ello a pesar de que la Environmental Protection Agency (EPA) estableciese en 1987 el *nivel de acción* o límite superior de exposición residencial en los 148 Bq/m³, y de su definición como cancerígeno humano en 1988 por la International Agency of Research on Cancer (IARC)⁴ y la propuesta del NRC (National Research Council de National Academies) de Estados Unidos de extrapolación del modelo matemático basado en los estudios en mineros del uranio⁵.

El radón domiciliario se acumula en las viviendas a partir de su exhalación desde el subsuelo sobre el que

ABSTRACT

They discuss the different scientific evidence that radon and its short half-life descendants are responsible for the appearance of a considerable number of lung cancers among the exposed population in homes and public buildings (occupational exposure). It also draws a small glimpse at the road traveled by this knowledge and acceptance difficult administrations in many countries and, in particular, of Spain, as well as the various investigations that the team do Galego Radon and Radon Laboratory from Galicia, the area of Public Health, University of Santiago de Compostela (USC), are contributing to scientific knowledge. Finally, they appreciate the few legislative initiatives on the problem in Spain.

KEY WORDS: radon, lung cancer, prevention, legislation.

se ha construido la casa, en mayor proporción si las rocas del mismo son ricas en uranio, elemento origen del radón. El granito contiene unas 5 ppm de uranio. Además, si el mineral está muy envejecido, agrietado y deshecho, la probabilidad de que emita radón se incrementa al aumentar la superficie de emisión.

Como problema de salud pública, su solución está en la disminución de los niveles de radón en los domicilios, una vez se haya demostrado alta concentración del gas. La ventilación de la casa es la medida más sencilla, pero solo reduce un porcentaje limitado, menor del 20%, y eso si se mantiene dos horas, lo que resulta absurdo en climas como el nuestro y va en contra de toda política de ahorro energético, por lo que en casas muy contaminadas ventilar no es suficiente para resolver el problema. Tendrán que tomarse medidas como el cierre de fisuras y grietas y practicar aberturas de aireación en sótanos o entresuelos en los que se acumula una mayor cantidad de radón que se difunde luego hacia los pisos superiores, entre otras posibles medidas. Sin embargo, el gran reto está en un nuevo ordenamiento de la calidad de la vivienda y de las normas de

construcción. Estados Unidos y otros países ya incluyen técnicas de reducción de radón y certificados sobre casas construidas que oficialmente indican que dicha construcción no sobrepasa los niveles de actuación de la EPA (148 Bq/m³). En Europa la recomendación para casas ya construidas es no superar los 400 Bq/m³ (un límite exageradamente permisivo y ya en revisión a la baja) y no se deben sobrepasar los 200 Bq/m³ en las casas de nueva construcción.

Desafortunadamente, el nuevo Código de Edificación, publicado en marzo de 2006, no recogió las recomendaciones del Consejo de Seguridad Nuclear que clasifica las zonas del país en bajo, medio y alto riesgo, según el 10% de las casas tengan menos de 100, entre 100 y 200, o superen los 200 Bq/m³. En Galicia estas últimas son numerosas. Si se siguen los modelos de otros países, la normativa debería incluir la recomendación de la necesaria medida del radón en las viviendas y la subsecuente reducción de su concentración si es alta. Además, se trataría de introducir nuevas tecnologías en la construcción de las nuevas edificaciones para hacerlas "impermeables" al radón en aquellas zonas de alto riesgo, así como la facilitación de reformas en las ya construidas que las necesiten. Las técnicas para ello llevan más de tres décadas utilizándose en Norteamérica y numerosos países de Europa, a un costo mínimo. La grata noticia desde enero de 2008 fue la mención explícita al tema en las Normas de Habitat Galego (DOG 17/01/2008) que publicó la Consellería de Vivenda e Solo, y que, aunque deberían ser desarrolladas en muchos aspectos, han quedado anuladas en mínima mención por la nueva Xunta de Galicia. La esperanzadora puerta que se abría para sensibilizar al ciudadano y a los sectores implicados (arquitectos, constructores y promotores inmobiliarios) deberá estar a la altura en que ha quedado cerrada. Ello a pesar de que una moción en el Senado del mismo partido que gobierna en Galicia fue aprobada por unanimidad en febrero de 2010, recomendando, entre otras cosas, al Gobierno y Gobiernos autónomos a adaptar medidas realmente accesibles y "baratas" para adecuar las nuevas construcciones a un nivel de calidad sanitaria que pueda ser solicitada por cualquier comprador de una vivienda y al revés: que todo vendedor pueda ofertar casas *libres de radón*.

EVOLUCIÓN HISTÓRICA

Ya en 1500, Agrícola describió una enfermedad respiratoria entre los mineros de Erz, en el este de Europa, que en 1879 será identificada como cáncer de pulmón por Karting y Hesse. En 1921, Uhling relacionó por vez primera este cáncer con las emanaciones de radio, y ya en la década de los años 70 del siglo XX, los referidos estudios sobre mineros establecieron que la sobremortalidad por cáncer de pulmón de este colectivo se debía a la exposición al único descendiente gaseo-

so de la cadena de desintegración del uranio 238, el radón 222.

En 1990, la recomendación del EURATOM⁶ establece los límites recomendados para casas de nueva construcción (200 Bq/m³) y para casas ya construidas (400 Bq/m³). En esa misma década aumenta la realización de estudios epidemiológicos, sobre todo de casos y controles sobre cáncer de pulmón y exposición residencial a radón, y se ratifica el modelo estimado del radón como factor de riesgo en mineros⁷. En 1999, el NRC publica su *Biological Effects of Ionization Radiation* (BEIR VI)⁸ que actualiza el BEIR IV y define el radón y sus descendientes de vida media corta como segunda causa de cáncer pulmonar, después del tabaco.

SITUACIÓN ACTUAL

Las llamadas por algunos contradicciones entre ciertos estudios de casos y controles, debido a resultados discrepantes o poco relevantes, se verán disipadas con el estudio colaborativo (*Pooling Study*) europeo de Darby *et al.*⁹, en el que 13 estudios europeos de casos y controles seleccionados por su calidad funden sus bases de datos y permiten un nuevo análisis de más de 7.000 casos de cáncer pulmonar y más de 14.000 controles. Como dato más relevante, se define un modelo lineal de riesgo en el que por cada 100 Bq de incremento en la exposición prolongada en el domicilio se observa un aumento del 16% en el riesgo de aparición de cáncer de pulmón. Ya anteriormente, Pavia *et al.*¹⁰ habían publicado en 2003 un metaanálisis de 17 estudios internacionales que demostraron un incremento de riesgo mayor del 20% para exposiciones de 150 Bq/m³ o más (OR = 1,24 [1,11 – 1,38]).

En ambos trabajos fue incluida nuestra primera investigación realizada en Galicia: un estudio de casos y controles en el área sanitaria de Santiago de Compostela, en la que se pusieron de manifiesto riesgos de 2 a 3, incluso a exposiciones inferiores a los 148 bequerelios.

El estudio europeo de 2005 y su homólogo americano¹², que encuentra incrementos de riesgo del 11% por cada 100 bequerelios de aumento en la exposición, servirían para que la OMS lanzase su iniciativa de un comité de expertos en radón, que de 2005 a 2007 celebró tres reuniones en Ginebra (2005 y 2006) y Múnich (2007) en el marco del International Radon Project¹³. Como resultado de los trabajos de dicho comité, en octubre de 2009 sale publicado el informe técnico correspondiente¹⁴, en el que en seis capítulos se sintetizan las políticas recomendadas a los Gobiernos miembros y el conocimiento científico sobre el tema, asentado a lo largo de varias décadas. En el primero de dichos capítulos se confirma que la exposición crónica residencial

a radón y descendientes incrementa el riesgo de padecer un cáncer pulmonar. Del 3 al 14% de todos los cánceres de pulmón se asocian a la exposición al radón, dependiendo de las concentraciones en cada país o zona y de los métodos de cálculo. No se puede hablar de la existencia de un umbral, por lo que el modelo lineal aparece como el más adecuado. El radón, por lo tanto, constituye la segunda causa de cáncer de pulmón en la población fumadora y la primera entre los no fumadores, y lo que es más importante: ese riesgo aparece con niveles de radón bajos y moderados. El capítulo 2 está dedicado a la medida del radón y sus técnicas; el 3, a la reducción y técnicas y el 4, al costo y eficacia de las medidas reductoras propuestas. El capítulo 5 recoge la comunicación del riesgo del radón a la población y el capítulo 6 plantea una serie de programas de información, estudios de radón en domicilios o encuestas y programas nacionales de reducción de radón que los diversos Gobiernos con el problema en sus países deberían implantar y fomentar.

EXPERIENCIA DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN DEL LABORATORIO DE RADÓN DE GALICIA (USC)

Como aportaciones específicas del grupo de investigación sobre radón, que me honro en dirigir, debemos recordar que no solo el diseño de casos y controles, sino el de cohortes, permite confirmar esa asociación. En la cohorte ambispectiva seguida desde 1992 a 2006 hemos hallado un riesgo de aparición de cáncer pulmonar, entre los controles sanos utilizados en la primera investigación, de más de 6 (OR = 6,6)¹⁵ y en cuestión de mortalidad atribuida la radón, el porcentaje de muertes por cáncer de pulmón debido al radón en nuestra área de Galicia estudiada varía del 3 al 5%. Cuando se estudia la interacción con el hábito tabáquico, ese porcentaje se acerca al 25% de todos los cánceres pulmonares en los que interviene la exposición a radón en los domicilios¹⁶.

Es importante explicar que las recomendaciones de diversas agencias internacionales se centran en investigar los efectos del radón a bajas dosis, en la profundización en la susceptibilidad genética del cáncer pulmonar y, en lo que a nuestro grupo respecta, en la interacción de estos factores. En esa trayectoria hemos iniciado la línea de investigación sobre alteraciones genéticas en diferentes niveles de exposición a radón^{17,18} y la susceptibilidad al cáncer pulmonar de algunos polimorfismos^{19,20}.

Por último, el Grupo de Radón de Galicia ha elaborado el mapa de radón de Galicia, instrumento abierto y en permanente actualización, con más de 2.600 casas en las que se han medido sus niveles de radón, clasificando por comarcas y municipios las áreas de alto, medio y bajo riesgo de radón, según la clasificación interna-

cional, por las que se superen los 200 Bq/m³ en el 10%, del 10 al 5%, o menos del 5% de las casa estudiadas. Lo cual nos permite ratificar que Galicia es una zona de alto riesgo de exhalación de radón a los domicilios y volver a insistir en la necesidad de legislar al respecto, cosa que llevamos pidiendo durante los tres últimos lustros, conjuntamente al Consejo de Seguridad Nuclear y a la Fundación Eduardo Torroja, del CSIC, y de nuestros compañeros del grupo de Luis Quindós, de la Universidad de Cantabria, sin grandes resultados por parte de las Administraciones y sectores implicados. Pero en ello seguiremos.

REFERENCIAS

1. Collier CG, JC Strong, Baker ST, Eldred T, Humphreys JAH, Cobb LM. Effects of continuous inhalation exposure of rats to radon and its progeny at various levels of dose and dose rate; interim results. *Radiation Research* 1999; 152(6):S141-4.
2. Hickman AW, Jaramillo RJ, Lechner FJ, Johnson NF. Alpha-particle induced p53 protein expression in rat lung epithelial cell strain. *Cancer Research* 1994; 54:5797-800.
3. Hei T.K., Piao CQ, Willey JC, Thomas S, Hall E.J.. Malignant transformation of human bronchial epithelial cells by radon-simulated alpha-particles. *Carcinogenesis* 1994; 15(3):431-47.
4. IARC (International Agency of Research on Cancer). Man-made mineral fibres. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Vol 43. Lyon: IARC Press; 1988.
5. NRC (National Research Council). Health Risks of radon and other internally deposited alpha-emitters. BEIR IV. Washington D.C.: National Academies Press; 1988.
6. 90/143/EURATOM: commission recommendation of 21 February 1990 on the protection of the public against indoor exposure to radon. http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radioprotection/doc/legislation/90143_en.pdf
7. Lubin JH, Boice Jr JD, Edling C, Hornung RW, Howe GR, Kunz E, Kusiak RA, Morrison HI, Radford EP, Samet JM, Tirmarche M, Woodward A, Yao SX, Pierce DA. Lung cancer in radon exposed miners and estimation of risk from indoor exposure. *Journal of the National Cancer Institute* 1995; 87(11):817-27.
8. NRC (National Research Council). Health effects of exposure to radon (BEIR VI). Washington D.C.: National Academies Press; 1998.
9. Darby S, Hill D, Auvinen A, Barros-Dios JM, Baysson H, Bochicchio F, Deo H, Falk R, Forastiere F, Hakama M, Heid I, Kreienbrock L, Kreuzer M, Lagarde F, Mäkeläinen I, Muirhead C, Oberaigner W, Pershagen G, Ruano-Ravina A, Ruostenoja E, Schaffrath Rosario A, Tirmarche M, Tomášek L, Whitley E, Wichmann HE, Doll R. Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *British Medical Journal* 2005;330:223-7. doi:10.1136/bmj.38308.477650.63. (2004).
10. Pavia M, Bianco A, Pileggi C, Angelillo IF. Meta-analysis of residential exposure to radon gas and lung cancer. *Bulletin of the World Health Organization* 2003; 81(10):732-738.
11. Barros-Dios JM, Barreiro MA, Ruano-Ravina A, Figueiras

- A. Exposure to residential radon and lung cancer in Spain: A population-based case-control study *American Journal of Epidemiology* 2002;156 (6): 548-55.
12. Krewski D, Lubin JH, Zielinski JM, Alavanja M, Catalan VS, Field RW, Klotz JB, Letourneau EG, Lynch CF, Lyon JI, Sandler DP, Schoenberg JB, Steck DJ, Stolwijk JA, Weinberg C, Wilcox HB. Residential radon and risk of lung cancer: A combined analysis of 7 North American case-control studies. *Epidemiology* 2005;16(2):137-45.
 13. WHO (World Health Organization). International Radon Project; 2004. http://www.who.int/ionizing_radiation/env/radon/en/index.html
 14. WHO (World Health Organization). Handbook on Indoor Radon; 2009. <http://apps.who.int/bookorders/anglais/depart1.jsp?sesslan=1&codlan=1&codcol=15&codcch=763>
 15. Ruano-Ravina A, Rodríguez MC, Cerdeira-Caramés S, Barros-Dios JM. Residential radon and lung cancer. *Epidemiology* 2009 Jan;20(1):155-6.
 16. Pérez-Ríos M, Barros-Dios JM, Montes-Martínez A, Ruano-Ravina A. Attributable mortality to radon exposure in Galicia, Spain. Is it necessary to act in the face of this health problem?. *BMC Public Health*.2010 May 18;10:256. doi: 10.1186/1471-2458-10-256.
 17. Ruano-Ravina A, Faraldo-Valles MJ, Barros-Dios JM. Is there a specific mutation of p53 gene due to radon exposure? A systematic review. *Int J Radiat Biol* 2009 Jul;85(7):614-21.
 18. Ruano-Ravina A, Pérez-Becerra R, Fraga M, Kelsey KT, Barros-Dios JM. Analysis of the relationship between p53 immunohistochemical expression and risk factors for lung cancer, with special emphasis on residential radon exposure. *Ann Oncol* 2008;19(1):109-14. Epub 2007.
 19. Ruano-Ravina A, Figueiras A, Loidi L, Barros-Dios JM. GSTM1 and GSTT1 polymorphisms, tobacco and risk of lung cancer: a case-control study from Galicia, Spain. *Anticancer Res* 2003 Sep-Oct;23(5b):4333-7.
 20. Raimondi S, Paracchini V, Autrup H, Barros-Dios JM, Benhamou S, Boffetta P, Cote ML, Dialyna IA, Dolzan V, Filiberti R, Garte S, Hirvonen A, Husgafvel-Pursiainen K, Imyanitov EN, Kalina I, Kang D, Kiyohara C, Kohno T, Kremers P, Lan Q, London S, Povey AC, Ranug A, Reszka E, Risch A, Romkes M, Schneider J, Seow A, Shields PG, Sobti RC, Sørensen M, Spinola M, Spitz MR, Strange RC, Stücker I, Sugimura H, To-Figuerras J, Tokudome S, Yang P, Yuan JM, Warholm M, Taioli E. Meta- and pooled analysis of GSTT1 and lung cancer: a HuGE-GSEC review. *Am J Epidemiol* 2006 Dec 1;164(11):1027-42. Epub 2006 Sep 25. PMID: 17000715.

UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA NUCLEAR: LA PERCEPCIÓN DEL RIESGO RADIOLÓGICO DEL PÚBLICO. EXPERIENCIA DESDE EL SECTOR SANITARIO

USE OF NUCLEAR ENERGY: THE PERCEPTION OF PUBLIC RISK FROM RADIATION. EXPERIENCE FROM HEALTH SECTOR

Leopoldo Arranz y Carrillo de Albornoz

Servicio de Radiofísica y Protección Radiológica. Hospital Universitario Ramón y Cajal

RESUMEN

Los riesgos radiológicos están, seguramente por el hecho que las bombas de Hiroshima y Nagasaki sigan formando parte de las pesadillas colectivas de la humanidad, siempre con la espada de Damocles de un posible uso de las armas nucleares, el paradigma de la subjetividad. Y su percepción negativa por parte de los ciudadanos se ha convertido en un momento de creciente interés para los responsables de la gestión y el manejo de cualquiera de las aplicaciones de las radiaciones ionizantes. En este trabajo se expone la opinión de expertos en comunicación cuando se habla de riesgos radiológicos, basándose algunos en su experiencia en el sector sanitario, y lo que se puede hacer para que esa percepción negativa pueda llegar a modificarse.

PALABRAS CLAVE: comunicación; percepción del riesgo; radiaciones ionizantes.

INTRODUCCIÓN

Uno de los rasgos característicos de la sociedad actual lo constituye su intensa preocupación por el riesgo y la seguridad. Sin embargo, los esfuerzos y recursos dedicados a su análisis no han evitado el creciente descontento ante las condiciones medioambientales y sus potenciales amenazas, suscitándose un intenso debate social en torno al riesgo. Es, además, un concepto con una fuerte carga de apreciación subjetiva para algunas personas.

Los riesgos radiológicos son, seguramente por razones históricas ligadas a su origen bélico, el paradigma de la subjetividad, y su percepción por parte de la población

ABSTRACT

Radiological risks are, probably by the fact that Hiroshima and Nagasaki bombs still are a part of the collective nightmares of the humankind, always with the sword of Damocles of a possible use of nuclear weapons, the paradigm of subjectivity. And their negative perception by the citizens has turned into a growing interest for people responsible of the management of any of the applications of the ionizing radiations. In this work the opinion of communication experts, some based on their experience in the health care system, with regard to radiological risks and what can be done in order to modify such negative perception are set out.

KEY WORDS: communication; risk perception; ionizing radiations.

se ha convertido en un motivo de creciente interés para los responsables de su gestión y del manejo de cualquiera de las aplicaciones de las radiaciones ionizantes. Este interés es un signo positivo, porque cuanto más se conozca mejores serán las condiciones para intentar cambios de actitudes y aproximaciones al problema, sobre todo desde el punto de vista de la comunicación con la sociedad.

LA PERCEPCIÓN SOCIAL DEL RIESGO

El riesgo, según consta en el *Diccionario de uso del español*, de María Moliner, es la posibilidad de que ocu-

rra una desgracia o un contratiempo, así que por definición es un asunto incómodo y difícil de entender y manejar. En el concepto de *riesgo* se incluyen una serie de factores que influyen en su percepción; como por ejemplo, si se trata de un riesgo impuesto o voluntario, si afecta solo a uno mismo o a todo el entorno o si los efectos son graves a lo largo de un tiempo determinado.

Las discrepancias entre las estimaciones de los expertos y las valoraciones de la población pusieron de manifiesto la relevancia de los procesos de percepción social del riesgo, fomentando el desarrollo de enfoques teóricos y de investigaciones de gran amplitud. Estas investigaciones se han configurado como un instrumento esencial de las políticas de prevención y gestión del riesgo a través de los procesos de comunicación y participación social.

Los expertos explican las diferencias que hay entre su percepción y la del público basándose en que este último carece de una información objetiva o presenta dificultades de comprensión. Pero la percepción del riesgo es mucho más que un proceso de información. En la actualidad se están llevando a cabo numerosos estudios sobre su percepción (dentro del denominado *paradigma psicométrico*) que, aunque difieren en el tipo de dimensiones del riesgo que evalúan o las muestras de sujetos empleados, no presentan grandes divergencias.

La toma de conciencia de la percepción de los riesgos tecnológicos por parte de la población es un hecho relativamente reciente. Es precisamente a principios de la década de los 70 cuando se juzga irrealizable la investigación del riesgo nulo. La Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) basa sus principios en limitar las dosis a unos niveles de riesgo "aceptables"¹. Sin embargo, la gestión de una situación o de una actividad de riesgo aceptable no ha suscitado entre la población la adhesión esperada. El riesgo no tiene el mismo sentido para todos y su "aceptabilidad" dependerá del contexto de la situación considerada.

LA PERCEPCIÓN DEL RIESGO POR LAS RADIACIONES EN MEDICINA

En el área hospitalaria existe una actitud del público (los pacientes) claramente diferente frente a otros riesgos (energía nuclear, residuos radiactivos, etc.)². Ello fue lo que motivó la realización de un estudio a fondo a partir de los tres actores implicados: los especialistas que las utilizan; los "administradores", que son los agentes que las regulan; y ellos, el público. Cada uno tiene su propia opinión sobre el riesgo y su forma de evaluarlo y gestionarlo (Figura 1).

- **Los especialistas.** Médicos y físicos médicos. Tienen una visión operacional y limitada del riesgo. Eva-

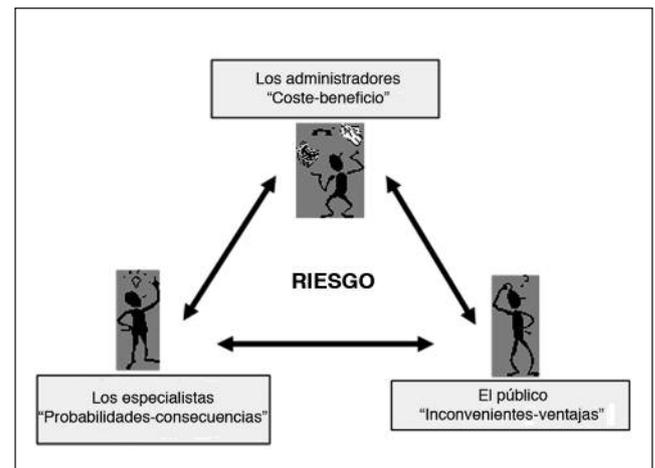


FIGURA 1

lúan exposiciones, riesgos en términos de mortalidad o de morbilidad en situaciones normales o accidentales. Realizan estadísticas, calculan probabilidades, evalúan efectos radiobiológicos y beneficios y deciden una estrategia diagnóstica o terapéutica óptima.

- **Los administradores.** Reguladores y responsables de salud pública. Tienen una visión más amplia. Traducen el riesgo en costes que confrontan con los beneficios globales. Elaboran normas y buscan opciones para prevenir y disminuir el riesgo. Proponen límites, niveles de intervención, niveles de referencia, niveles de restricción de dosis para optimizar los diferentes procedimientos. Estudian programas que priorizan según otros riesgos por otras causas.
- **El público.** Los pacientes. Perciben el riesgo de una forma personal. Comparan los inconvenientes de un tratamiento o procedimiento diagnóstico con los beneficios que les pueden aportar. Se apoyan en criterios cualitativos, muchas veces subjetivos, para juzgar sobre su salud.

Se realizó el estudio para identificar las razones que justificaban la diferencia entre el riesgo estimado con el objeto de facilitar la adaptación del conocimiento científico a la información que se debe transmitir al público con el fin de mejorar su percepción. Dicho estudio, realizado por Martínez-Arias, Prades y Arranz (2001), recogió la opinión de 11.285 encuestados³.

El estudio demostró, entre otras cuestiones, la gran carga de subjetividad existente cuando se trata de las radiaciones ionizantes. El público se somete sin problemas a las irradiaciones médicas que sean necesarias sin cuestionarse los posibles efectos perjudiciales de la radiación que reciben (Figura 2) y, sin embargo, siempre se preocupan por cualquier otra presencia de la radiactividad en sus vidas. En este estudio se concluye que la diferencia está en el beneficio que el paciente obtiene, mientras que los demás riesgos radiológicos (energía nuclear por ejemplo) no son asumidos en absoluto y se perciben como un problema impuesto

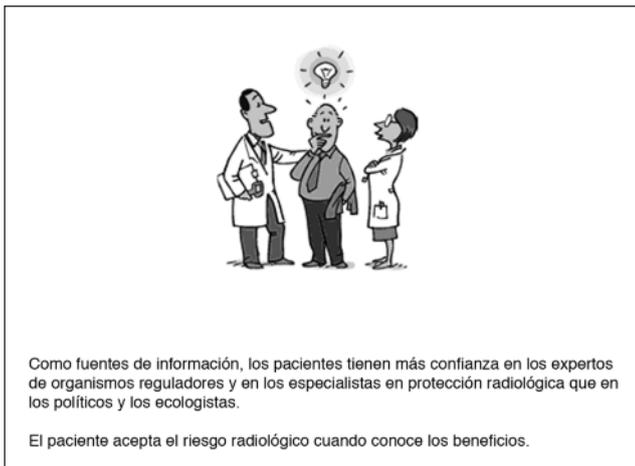


FIGURA 2

de manera ajena por una compañía eléctrica, el Gobierno, el organismo regulador o cualquier otro agente y en el que no recibe un beneficio tan claro (existen otras fuentes de energía).

Ante este hecho evidente y constatado, los expertos se preguntan sobre las causas y se suscitan debates que comparan la tecnología nuclear con otras industrias o fuentes de riesgo. Por ejemplo, uno de los argumentos preferidos para situar las radiaciones en un marco general de riesgo suele ser la comparación con los accidentes de carretera: cada fin de semana mueren decenas de personas; sin embargo, no se producen muertes en las centrales nucleares. Es inútil. Para desesperación de quienes suelen manejar estas comparaciones, tales argumentos no llevan a ninguna parte. El peso de esta supuesta razón comparativa no conmueve a nadie y, desde luego, nadie varía un ápice su opinión preconcebida sobre los riesgos de las radiaciones. Muchas preguntas y muchos datos, pero nada parece que cambie. Parece como si nos enfrentáramos a una “manía ciudadana”, como si la mayor parte de la gente se obcecara en que la radiactividad no está controlada⁴. Y es que la información negativa se percibe con más peso que la positiva: en relación con la percepción del riesgo radiológico se sobrevalora siempre el sesgo negativo⁵.

LA RESPUESTA: LOGRAR UNA COMUNICACIÓN EFICAZ Y TRANSPARENTE

Dado que en cualquier ejercicio de comunicación intervienen dos partes: el emisor y el receptor de una información, la responsabilidad inicial recae directamente en el primero. Nos enfrentamos a un problema de percepción enraizado en la desconfianza, en la desinformación y, a menudo, en la falta de credibilidad. Lo que hace creíble una fuente no es tanto la dedicación e implicación, ni la honestidad, ni siquiera la experiencia técnica, sino la empatía.

La percepción del riesgo se amplifica cuando se supone potencialmente catastrófico. Los responsables de la gestión no logran credibilidad ni controlan el peligro y cuando los expertos no explican sus efectos negativos (o no se les entiende). Sin embargo, se atenúa cuando los riesgos no interaccionan con intereses y temores del público, la información de los medios es creíble y honesta, los beneficios derivados del suceso son necesarios, los riesgos están bien comprendidos y controlados y los gestores o responsables son percibidos con confianza y muestran control y experiencia.

Es necesario pasar de una actitud paternalista a una relación donde se pueda deliberar. Si antiguamente se ignoraba al público en la toma de decisiones, en la actualidad se debe llegar a un auténtico diálogo que le haga sentir protagonista. La comunicación del riesgo radiológico, sin embargo, tiene unas dificultades, pero también unas ventajas. En su contra está la utilización de una terminología específica y compleja, una difícil comprensión del modelo dosis-efecto (relación lineal sin umbral), una difícil comprensión del sistema de optimización (Alara) y de los límites de dosis, así como unos fundamentos radiobiológicos complejos e inciertos¹. Pero está a nuestro favor que tenemos un conocimiento de los efectos de las radiaciones mucho más preciso que los de otros riesgos⁶, el elevado grado de aceptación de las aplicaciones médicas al conocer sus beneficios reales y la facilidad de obtener una información real (Internet).

La comunicación ayuda a disminuir incertidumbres, es un derecho del ciudadano, facilita la adaptación y la percepción del control, favorece la posibilidad de planificar con objetivos reales y realizables y ayuda a participar en la toma de decisiones. Una mala comunicación genera desconfianza, confusión, miedo y, lo que es peor, pérdida de credibilidad en el especialista.

Por ello, es necesario saber informar. Es preciso hacerlo al ritmo del ciudadano, sin prisas ni tecnicismos, con delicadeza y sinceridad. A menudo, ocurre que los expertos consideran esenciales los procedimientos, los protocolos y las explicaciones técnicas, pero tales detalles no contestan de verdad a las preguntas que están en la calle. No tiene sentido, por tanto, informar con todo detalle de aquello que no tiene demanda informativa y ser parco o evasivo en la respuesta concreta. Hay que aceptar que aquello de lo que uno informa no necesariamente tiene por qué coincidir con lo que el público quiere oír y que, por tanto, informar no es sinónimo de tener credibilidad⁴.

LAS REGLAS DE LA COMUNICACIÓN DEL RIESGO

1. Aceptar e implicar al público como un compañero legítimo.

2. Escuchar a la audiencia.
3. Ser abierto, franco y honesto.
4. Coordinarse y colaborar con otras fuentes creíbles (por ejemplo, las sociedades científicas).
5. Tener en cuenta las necesidades de los medios.
6. Hablar claro y con empatía.
7. Los planes de comunicación deben ser evaluados.

CONCLUSIÓN

Cuando hablamos de la percepción pública de los riesgos radiológicos, todos somos responsables en igual medida. Los riesgos radiológicos no son riesgos asumidos y eso los diferencia sustancialmente de otra clase de riesgos. Por ello, la importancia de los agentes implicados es mayor. No se puede pensar que una gestión segura es suficiente si no se percibe como tal. Si la percepción del riesgo es alta, como es el caso de la percepción de los riesgos de las radiaciones ionizantes, es deber de los agentes implicados (organismos reguladores, empresas, médicos, ingenieros, físico-médicos, etc.) tratar de ponerla en términos equitativos. No es posible conformarse –aunque, por

supuesto, eso es lo primero– con medidas burocráticas y técnicas que aseguren el menor riesgo posible, es necesario mantener a la población informada para que también se sienta segura.

BIBLIOGRAFÍA

1. ICRP. 1990 Recommendations of the International Commission of Radiological Protection. Publication n° 60. Versión española publicada por la Sociedad Española de Protección Radiológica. SEPR. Publ. N° 1;1995.
2. Slöberg L, Drotz-Slöberg B. Risk perception on nuclear waste: Experts and the public. RHIZIKON: Risk Research Report 16. Center for Risk Research, Stockholm School of Economics;1994.
3. Martínez-Arias R, Prades A, Arranz L. La percepción del riesgo radiológico en el ámbito hospitalario. Radioprotección 2001;29:7-52.
4. Rojas F, Calvo A. El riesgo es no comunicar. Radioprotección 2001;29:53-6.
5. Kahneman D, Tversky A. Prospect theory: An Analysis of decision Under Risk. *Econometrica* 1997;47:263-92.
6. Kraus N, Malmforms T, Slovic P. Intuitive Toxicology: Experts and lay judgments of chemical Risks, *Risk Analysis* 1992;12:215-32.

SITUACIÓN DEL SECTOR NUCLEAR EN ESPAÑA

STATUS OF THE NUCLEAR SECTOR IN SPAIN

Antonio González Jiménez

Foro de la Industria Nuclear Española

RESUMEN

España comenzó a interesarse por la energía nuclear a finales de los años cuarenta. En el año 1964 se aprobó la Ley de Energía Nuclear, y en el año 1972 se desarrolló el Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas. Las actividades de seguridad y regulación se encomendaron al Consejo de Seguridad Nuclear, creado en 1980, y la investigación y gestión de los residuos radiactivos a la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (ENRESA), creada en 1985. La estructura industrial nuclear en España comenzó a desarrollarse en los años sesenta, como consecuencia de la decisión de construir las centrales nucleares de José Cabrera, Santa María de Garoña y Vandellós I. En la siguiente etapa, en la década de los años setenta, se construyeron las centrales de Almaraz, Ascó y Cofrentes. Durante la tercera etapa, en la década de los años ochenta, se construyeron las centrales de Vandellós II y Trillo I.

Actualmente, la industria nuclear española, experta y eficaz, es garantía de que la tecnología nuclear se conserva en España no solo para apoyar a las centrales nucleares en operación, sino para atender un mercado nuclear reactivado a nivel internacional. España dispone de la infraestructura necesaria, la capacidad técnica, los recursos financieros y la voluntad de las empresas en el empeño común de proporcionar a los españoles una energía eléctrica fiable, barata y sostenible, con respeto al medio ambiente y seguridad para los ciudadanos. La energía nuclear es, en definitiva, una pieza clave hoy y lo será en el futuro.

PALABRAS CLAVE: industria nuclear, competitividad, seguridad de suministro, operación a largo plazo, sostenibilidad.

INTRODUCCIÓN

La humanidad avanza constantemente hacia un mayor desarrollo económico y social. La globalización ha fomentado las relaciones entre los países de tal forma que ya no es posible establecer políticas nacionales que no tengan en cuenta las planteadas por otros países, siendo este el caso de la política energética.

Desde esa perspectiva global, cabe advertir que en la actualidad, de los casi 6.500 millones de habitantes de nuestro planeta, únicamente 2.000 millones tienen un

ABSTRACT

Spain began to show interest in nuclear energy in the late 1940's. In 1964 the Nuclear Energy Law was approved, and in 1972 the Nuclear and Radioactive Sites Regulation was developed. Safety and regulation activities were entrusted to the Nuclear Safety Council (Consejo de Seguridad Nuclear) created in 1980, and the research and management of radioactive waste to the National Radioactive Waste Company (Empresa Nacional de Residuos Radiactivos), created in 1985. The structure of Spain's nuclear industry began to be created in the 1960's, as a consequence of the decision to build the nuclear power plants of José Cabrera, Santa María de Garoña and Vandellós I. In the next stage, during the 1970's, the Almaraz, Ascó and Cofrentes Nuclear Power Plants were built. During the third stage, in the 1980's, the Vandellós II and Trillo I Nuclear Power Plants were built.

Nowadays, the expert and efficient Spanish nuclear industry is a guarantee that nuclear technology is maintained in Spain, and not only to support the operating plants but also a reactivated international nuclear market. Spain has the necessary infrastructure, the technical capacity, the financial resources and the companies' willpower in a common effort to provide Spaniards with reliable, cheap and sustainable electric energy that respects the environment and guarantees security for citizens. Nuclear energy is, definitively, a key component today and in the future.

KEY WORDS: Nuclear industry, competitiveness, guarantee of supply, long term operation, sustainability.

acceso de primera clase, regular y sin interrupciones a la energía. Al mismo tiempo, hay otros 1.600 millones de personas que no tienen ningún tipo de acceso a la electricidad, lo que constituye un grave problema ético, económico y social. En los próximos 20 años se prevé un aumento de la población del 25%, por lo que la Agencia Internacional de la Energía de la OCDE considera que la demanda energética mundial va a aumentar más de un 50% de ahora al año 2030.

Teniendo en cuenta esa previsión, proyectando a largo plazo el actual contexto económico, político y geoes-

tratético, y considerando la creciente escasez de recursos naturales, los costes de la energía aumentarán fuertemente como consecuencia del incremento del precio de las materias primas y la necesidad de realizar importantes inversiones para su generación, transporte, distribución y consumo.

La cobertura de la demanda en un sistema eléctrico debe ser en todo momento suficiente, más aún, todo lo optimizada posible, dado el trascendental efecto de los parámetros que la condicionan. Dichos parámetros son de muy distinto carácter, desde el efecto en la balanza de pagos, la competitividad, la vulnerabilidad del suministro, el impacto medioambiental, la operación sostenible a corto, medio y largo plazo, hasta otros menos evidentes pero sí determinantes, como el desarrollo tecnológico o los efectos éticos y sociales.

En la situación actual, algunos de estos parámetros son especialmente críticos, como es el caso de los costes y los efectos sobre el medio ambiente, considerándose cada vez más un tercer factor: la garantía de aprovisionamiento energético.

LA INDUSTRIA NUCLEAR EN ESPAÑA

España comenzó a interesarse por la energía nuclear a finales de los años cuarenta. En el año 1951 se creó la Junta de Energía Nuclear, dependiente de la Presidencia del Gobierno y, después, del Ministerio de Industria y Energía, que habría de tener una gran importancia en el desarrollo nuclear del país. Después del discurso "Átomos para la paz" del presidente de Estados Unidos Dwight D. Eisenhower, en la Asamblea General de Naciones Unidas, en diciembre de 1953, se creó el clima adecuado para estudiar la conveniencia de introducir en España esta energía tan prometedora.

En el año 1964 se aprobó la Ley de Energía Nuclear. Posteriormente, en el año 1972, se desarrolló el Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas, revisado posteriormente en el año 1999. Las actividades de seguridad y regulación se encomendaron al Consejo de Seguridad Nuclear creado en 1980, y la investigación y gestión de los residuos radiactivos a la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (ENRESA), creada en 1985.

Al principio de la década de los sesenta, con el Plan de Estabilización y la incorporación de España a la OCDE, la economía española aceleró su expansión, incrementándose la demanda energética. En el periodo de 1960 a 1975, la demanda eléctrica creció a una tasa acumulativa del 11% anual. En una situación de carencia de gas y petróleo, con creciente dependencia de este, y con un carbón doméstico de extracción difícil y costosa, empresarios y Gobierno pensaron audazmente en acceder a la energía nuclear, todavía en desarrollo industrial incipiente, pero que prometía constituir

un complemento ideal para suministrar la base de la curva de carga.

La estructura industrial nuclear de España comenzó a crearse, por tanto, en los años sesenta, como consecuencia de la decisión de construir las centrales nucleares de José Cabrera, Santa María de Garoña y Vandellós I por contratistas principales extranjeros por el procedimiento "llave en mano". En esta primera etapa, la Administración promovió activamente este desarrollo industrial, por las razones de creación de puestos de trabajo cualificados y el avance tecnológico que había de contribuir a la mejora general de la industria.

En la siguiente etapa, en la década de los años setenta, se construyeron las centrales de Almaraz, Ascó y Cofrentes. Se adoptó la contratación por componentes, alcanzando una gran importancia la industria de ingeniería y la de bienes de equipo, en instalaciones existentes, pero con métodos modernizados y adaptados a los nuevos conceptos de garantía de calidad.

Durante la tercera etapa, en la década de los años ochenta, se construyeron las centrales de Vandellós II y Trillo I. En esta fase, la industria nuclear llegó a su madurez con la construcción de fábricas de nueva planta, tanto de equipos como de combustible, y el funcionamiento de un número de empresas de servicios especializados. En esta etapa, la involucración y responsabilidad de la industria española fue mayor, llegando a participaciones del 86% en las últimas realizaciones. Este hecho ha llevado a España a ser seleccionada por el Organismo Internacional de Energía Atómica como modelo de país que tuvo un programa nuclear ejemplar de promoción industrial ante los países que inician sus programas nucleares.

Actualmente, la industria nuclear española, experta y eficaz, es garantía de que la tecnología nuclear se conserva en España no solo para apoyar a las centrales nucleares en operación, sino para atender un mercado nuclear reactivado a nivel internacional. España dispone de la infraestructura necesaria, la capacidad técnica, los recursos financieros y la voluntad de las empresas en el empeño común de proporcionar a los españoles una energía eléctrica fiable, barata y sostenible, con respeto al medio ambiente y seguridad para los ciudadanos.

ENERGÍA NUCLEAR EN ESPAÑA Y EN EL MUNDO

El parque nuclear español actual está formado por ocho reactores en seis emplazamientos con una potencia instalada de 7.728,8 MW, lo que representaba a finales del año 2009 el 7,84% del total de la potencia de generación instalada en España y el 17,55% de la producción eléctrica total, cerca de 53.000 GWh (ver Figura 1).

Actualmente existen en el mundo 439 reactores nucleares en operación en 30 países (en la Unión Europea hay 145, distribuidos entre 14 de los 27 Estados miembros) y 61 se encuentran en construcción. En la tabla 1 se detalla la distribución por países. Otros 90 se encuentran en fase de planificación y existen propuestas para más de 200 nuevas unidades. La energía nuclear produce el 17% de la electricidad que se consume en todo el mundo, más de 2.600 millones de MWh cada año.

ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES

Es bien conocido el nulo impacto ambiental de las centrales nucleares, ya que no emiten gases de efecto invernadero (CO_2) ni otros contaminantes como SO_2 , (causante de la lluvia ácida) o NO_x .

El estudio "World Energy Outlook 2009 (WEO 2009)" de la Agencia Internacional de la Energía, de la OCDE, señala que para reducir la emisión de gases de efecto invernadero, de manera que se llegue a fin de siglo con un calentamiento global aceptable, hay que tomar me-

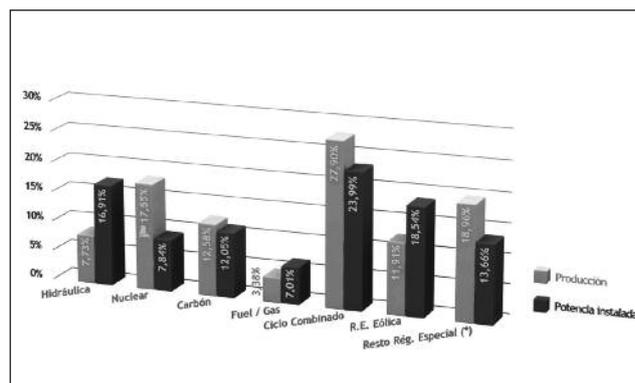


FIGURA 1. Sistema eléctrico español en el año 2009.

didadas entre las que está disponer de una capacidad nuclear de unos 700.000 MW en 2030, lo que supone casi el doble de la actual.

La preocupación mundial por la evolución previsible del calentamiento global a causa de la presencia creciente en la atmósfera de los gases de efecto invernadero ha dado lugar a estudios detallados que instan a una política vinculante para reducir las emisiones de

TABLA 1. Reactores en operación y en construcción en el mundo y contribución de la energía nuclear en el total de la producción de electricidad en el año 2009

País	Reactores en operación (*)	Reactores en construcción (*)	Electricidad de origen nuclear (%)
Alemania	17	—	26,12
Argentina	2	1	6,95
Armenia	1	—	44,95
Bélgica	7	—	51,65
Brasil	2	1	2,93
Bulgaria	2	2	35,90
Canadá	18	—	14,83
China	12	23	1,89
Corea del Sur	20	6	34,79
Eslovaquia	4	2	53,50
Eslovenia	1	—	37,83
España	8	—	17,60
Estados Unidos	104	1	20,17
Finlandia	4	1	32,87
Francia	58	1	75,17
Holanda	1	—	3,70
Hungría	4	—	42,98
India	19	4	2,16
Irán	—	1	—
Japón	54	2	28,89
México	2	—	4,80
Pakistán	2	1	2,74
República Checa	6	—	33,77
Reino Unido	19	—	17,45
Rumania	2	—	20,62
Rusia	32	11	17,82
Sudáfrica	2	—	4,84
Suecia	10	—	37,43
Suiza	5	—	39,50
Taiwán	6	2	18,10
Ucrania	15	2	48,59

* Datos a 31 de julio de 2010
Fuente: PRIS-OIEA y elaboración propia

estos gases. El sector energético contribuye a las emisiones totales en un 60% y, por otra parte, se presta mucho más que otros sectores más difusos a un esfuerzo concertado para reducir las emisiones. En 2007 originó emisiones de 28.800 millones de toneladas de CO₂, de las cuales el 41% correspondió a la generación de energía eléctrica (el resto se repartió entre el transporte, la industria, los edificios y otros).

El estudio WEO 2009 define un escenario de referencia para 2030 que tiene en cuenta la futura demanda energética por sectores y por regiones y las emisiones correspondientes, sin otras medidas de reducción que las ya tomadas hasta ahora. El resultado es de 40.200 millones de toneladas de CO₂. Este escenario, prorrogado hasta el año 2100, lleva a un aumento de temperatura de 6 °C, con consecuencias catastróficas.

El estudio propone un escenario alternativo que lleva en 2030 a una concentración de CO₂ en la atmósfera de 450 partes por millón (ppm) y a un aumento de temperatura en 2100 de 2 °C, considerado como aceptable. Para ello, las medidas a tomar, muy ambiciosas, tienen que reducir las emisiones de procedencia energética en 2030 hasta 26.400 millones de toneladas. La mitad de la reducción debe proceder de un mejor uso de la energía, que lleve a una reducción de la demanda prevista en el escenario de referencia. El resto corresponde a esfuerzos importantes en los distintos sectores.

Al sector eléctrico le corresponde una reducción de algo más de 9.000 millones de toneladas de CO₂ respecto al escenario de referencia. En las figuras 2 y 3 pueden verse la contribución de la moderación de la demanda y de la aportación de distintas fuentes de energías limpias, y la potencia instalada de cada una de ellas en 2030.

La nueva capacidad nuclear a instalar en el mundo, incluida la de reposición de centrales retiradas, sería de 375.000 MW, con una inversión de casi 1,3 billones de dólares. Las 61 centrales actualmente en construcción representan unos 60.000 MW, por lo que la potencia indicada supone construir unos 300.000 MW más

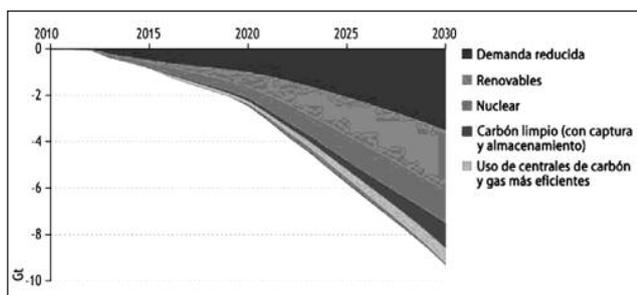


FIGURA 2. Reducción mundial de emisiones de CO₂ por el sector eléctrico en el escenario de 450 ppm respecto al de referencia.

en 20-25 años, cifra que está al alcance de la industria nuclear.

Por otra parte, el día 16 de febrero de 2005 entró en vigor el Protocolo de Kioto, acordado en el año 1997, con el fin de limitar las emisiones de los gases de efecto invernadero: una reducción global del 5,2% en el periodo 2008-2012 respecto a los niveles de emisión del año 1990, con diferentes compromisos para los distintos países y grupos de países. Así, las obligaciones correspondientes a nuestro país como miembro de la Unión Europea datan desde el 31 de mayo de 2002, cuando todos los Estados miembros ratificaron el citado protocolo, permitiendo para España, en dicho periodo 2008-2012, un aumento máximo de las emisiones de gases de efecto invernadero de un 15% respecto de las emisiones del año base 1990. Pero la situación real es que el nivel de emisiones es de un 50% superior a las del año base, es decir un 35% más de lo permitido.

En nuestro país, la operación del parque nuclear evita cada año un total de emisiones de 40 millones de toneladas de CO₂, equivalentes a las emisiones de la mitad del parque automovilístico español. Hay que recordar que según el Plan Nacional de Asignaciones de Derechos de Emisión de Gases de Efecto Invernadero, al sector eléctrico se le asigna un promedio anual, durante el periodo 2008-2012, de 54,42 millones de toneladas de CO₂. De hecho, la electricidad de origen nuclear en España representó en el año 2009 el 50% de la generación eléctrica sin emisiones de carbono.

LA COMPETITIVIDAD DE LA ELECTRICIDAD NUCLEAR

Las centrales nucleares producen la energía eléctrica de base más competitiva de todas las alternativas limpias, de acuerdo con el estudio *Projected Costs of Generating Electricity. Edition 2010* de la Agencia Internacional de la Energía y la Agencia de la Energía Nuclear de la OCDE, que ha utilizado los datos proporcionados por 21 países, referentes a 190 centrales.

El estudio ha tomado los datos sin procesarlos para darles uniformidad, por lo que su dispersión es inevita-

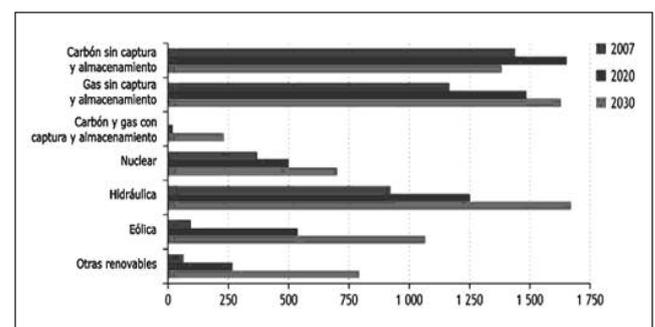


FIGURA 3. Potencia instalada mundial en GWe en el escenario de 450 ppm.

ble, revelando condiciones e hipótesis particulares de cada país. Se ha adoptado el criterio de postular un precio uniforme de las emisiones de 30 dólares por tonelada de CO₂, que se juzga razonable a medio plazo. Además, proporciona rangos para datos como el precio de los combustibles fósiles y, sobre todo, las tasas de descuento, que permiten ajustar mejor las condiciones locales. Los resultados se refieren a la electricidad en barras de central, sin considerar costes de transporte ni distribución, ni tampoco costes del sistema eléctrico necesarios para la incorporación de energías intermitentes, como la eólica. Para las comparaciones se ha utilizado el método de la actualización de costes al momento actual.

Los datos revelan una gran discrepancia entre los costes comunicados por distintos países para la instalación de centrales nucleares antes de intereses durante la construcción, de 1.600 a 5.900 \$/kW, con una mediana (valor para el cual hay tantos casos en los que los costes son superiores como inferiores) de 4.100 \$/kW. En las centrales nucleares, que son intensivas en capital (al igual que las renovables y el carbón con captura y almacenamiento de CO₂), la repercusión del coste de instalación en el precio final de la energía producida resulta de 59% y 75% según que el tipo de interés sea del 5% o del 10%. Estos porcentajes son muy inferiores en las centrales fósiles de instalación más barata (emisoras de CO₂), pero quedan compensados por los altos costes de combustible y los costes de emisión de CO₂.

Con todas estas salvedades y condicionamientos, la mediana de los costes de la energía nuclear resulta ser de 58,5 \$/MWh para tipos del 5%, y 98,7 \$/MWh para el 10% de interés. En la figura 4 se presentan las medianas de los costes resultantes para los distintos tipos de energía, en el caso de tipos de interés bajos.

Del estudio pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- Comparada con otros tipos de energía limpia, la nuclear es la más competitiva para los tipos de interés bajos y es ligeramente más cara que el carbón y el gas (energías contaminantes) para los tipos de inte-

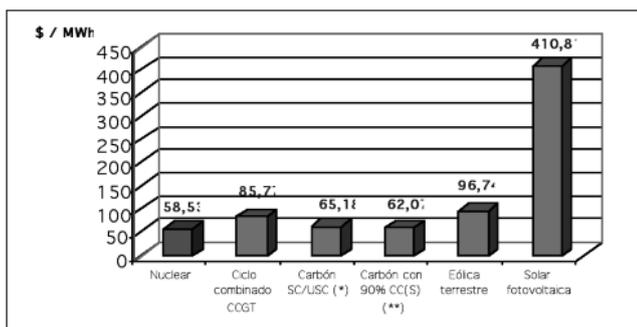


FIGURA 4. Mediana del coste de generación actualizado (tasa de descuento del 5%).

res altos. En Norteamérica es la más competitiva en todos los casos.

- En general, las energías limpias (nuclear y carbón con captura y almacenamiento para funcionamiento en base y renovables en utilización intermitente) resultan vulnerables a los tipos de interés altos, por lo que necesitan apoyos directos (primas o avales) o indirectos (política estable a largo plazo) que contribuyan a una financiación asequible.
- Las energías fósiles con emisiones de CO₂ resultan competitivas para los tipos de interés altos, para un servicio complementario de apoyo a las puntas y horas intermedias. Pueden, sin embargo, tener poca aceptación social.
- La energía eólica terrestre es más cara en todos los casos (mediana de 96,7 \$/MWh para el 5% de interés, y 137 \$/MWh para 10%, pero con una gran dispersión en los datos).

OPERACIÓN A LARGO PLAZO

Desde el punto de vista técnico se ha demostrado que el periodo de diseño previsto inicialmente para una central nuclear ha resultado una hipótesis conservadora, ya que las situaciones operativas a las que ha estado sometida la central y las mejoras técnicas de los equipos han conducido a un estado y características de estos muy superiores a las previstas para el final del citado periodo. Ello se ha traducido en que en el mundo nuevos diseños de centrales en construcción contemplan ya una vida operativa de 60 años y que se haya procedido a una revisión y concesión de nuevas autorizaciones de explotación por 20 años adicionales a los 40 inicialmente previstos cuando las actuales centrales nucleares se pusieron en servicio.

Así, en Estados Unidos, el organismo regulador nuclear (Nuclear Regulatory Commission) ha concedido ya autorizaciones de explotación adicionales para 20 años a los 40 años inicialmente concedidos al inicio de la explotación, a 59 de los 104 reactores en funcionamiento en el país, encontrándose otras 20 solicitudes en fase de revisión, lo que hará que casi el 80% del parque nuclear estadounidense opere al menos durante 60 años.

De igual forma, en Bélgica, el Gobierno ha decidido operar a largo plazo, hasta el año 2025, con la concesión de 10 años adicionales de licencia, tres de sus siete reactores nucleares, basándose en un informe técnico exhaustivo realizado por expertos nacionales e internacionales para garantizar un mix eléctrico equilibrado, mantener los puestos de trabajo, el conocimiento, las capacidades tecnológicas y frenar las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera.

También en Holanda, la central nuclear de Borssele dispone de una autorización de explotación hasta el

año 2033, de tal manera que operará, al menos durante 60 años. En Suiza, sus cinco reactores disponen de licencias de explotación indefinidas, con el único requisito de mantener todas las normativas nacionales e internacionales de seguridad. Y en Alemania, el nuevo Gobierno, tras las elecciones generales de septiembre de 2009, ha anunciado una revocación de la moratoria nuclear establecida por el gobierno rojiverde del canciller Schroeder.

El mantenimiento en operación de las centrales nucleares españolas más allá de esos 40 años, siempre que la seguridad de las mismas esté garantizada, es una opción que no debería ponerse en duda. Es un desatino económico renunciar a seguir operando una instalación cuando está justificado su funcionamiento seguro y el coste de la generación eléctrica procedente de la misma es inferior al de otras fuentes.

La prolongación de la vida operativa de las centrales nucleares españolas hasta los 60 años (ver figura 5) supone una producción eléctrica de 1.200.000 GWh, lo que equivale a la energía eléctrica que se consume en España durante 4 años, evita la importación anual de 100 millones de barriles equivalentes de petróleo, con el efecto que ello tiene para la balanza de pagos, y contribuye a frenar el cambio climático, como ya se ha indicado anteriormente.

POSIBLE ESCENARIO FUTURO EN ESPAÑA: EL HORIZONTE DEL AÑO 2035

Para garantizar un sistema eléctrico seguro, estable y fiable, es necesario conseguir un mix energético equilibrado y sostenible en el tiempo. Para ello, hay que establecer una buena planificación energética a largo plazo y alcanzar un pacto de Estado en esta materia. Es necesaria una planificación energética responsable en la que se valoren aspectos de costes, de competitividad, de garantía de suministro y de medio ambiente.

Hay que tener en cuenta las condiciones de partida del sistema energético español, que son casi fijas y poco cuestionables:

- La primera es la isla eléctrica que es España, con

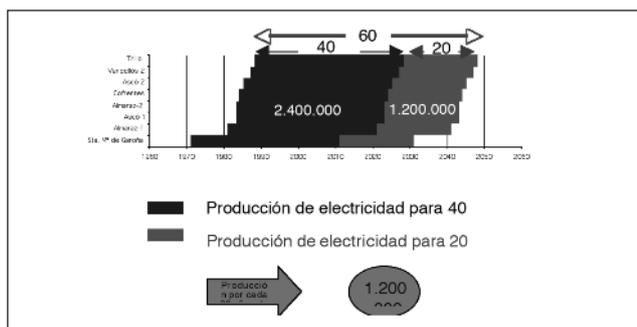


FIGURA 5. Operación a largo plazo del parque nuclear español.

pocas posibilidades de interconexión; más de 10 años ha durado la gestión de una nueva conexión con Francia que dará una capacidad adicional de 1.400 MW, siendo difícil pensar en mayor capacidad adicional en el horizonte considerado.

- La segunda es la necesidad de cumplimiento de los objetivos europeos del 20% de consumo de energía final renovable, en cuya dirección España ya ha dado pasos que deben tenerse en consideración.
- La tercera es el necesario aprovechamiento de las instalaciones existentes al máximo y el desarrollo de actuaciones de eficiencia energética.

En segundo lugar, hay que establecer los objetivos que se persiguen:

- El prioritario es buscar la generación de energía al mínimo coste, para la competitividad de nuestra economía.
- Disminuir las emisiones y aumentar el autoabastecimiento.
- Incrementar la seguridad de suministro cubriendo las puntas de demanda.

En la planificación energética es inevitable hacer hipótesis basadas en tendencias, para el mix energético que se piensa posible en el horizonte del año 2035 hay que considerar los siguientes parámetros:

- Crecimiento de la demanda: entre el 1,5% y el 2% anual.
- Cuota de renovables: 35% de la producción eléctrica total.
- Potencia de base mixta: nuclear y carbón con captura de CO₂.

En el pasado, los planes energéticos se hacían para fomentar tecnologías. En la actualidad, existe la oportunidad de planificar todas las tecnologías en su conjunto, estudiar detenidamente la situación energética y medioambiental del país y las características y aportación de cada fuente de energía para lograr un modelo energético sostenible y equilibrado a largo plazo.

Con las hipótesis anteriormente planteadas se puede estimar un mix en el que la energía nuclear contribuirá con el 21%, el 35% de la electricidad se conseguirá gracias a las renovables, el 17% lo producirán las centrales de carbón con captura y almacenamiento de CO₂ y el 27% las de gas natural. En este mix se debe aumentar la potencia nuclear entre 2.600 y 3.000 MW.

Este mix planteado está basado en tecnologías suficientemente probadas, excepto la captura y almacenamiento de CO₂, que debe demostrarse y ponerse en marcha de forma efectiva. Si esta tecnología no estuviera finalmente disponible, el 17% de la electricidad producida en las centrales de carbón debería disminuir y para acercarse a los compromisos medioam-

bientales garantizando la estabilidad del sistema eléctrico habría que incrementar el porcentaje nuclear hasta un 30%.

Sea cual fuere el mix energético seleccionado para España, los escenarios de menor coste, mínima potencia instalada y mínimas emisiones son siempre aquellos que cuentan con la energía nuclear. Una fuente de energía que, efectivamente, garantiza el suministro eléctrico a precios estables y competitivos; frena las emisiones contaminantes a la atmósfera y reduce la dependencia energética exterior. Junto a esta conclusión, cabe destacar que la penetración de renovables causa un sobredimensionamiento de la potencia instalada por la energía de respaldo necesaria para cubrir la punta de demanda, que podría ser de hasta 70.000 MW. Para cubrir este mix energético, habría que mantener la potencia del régimen ordinario hasta 2020, invirtiendo especialmente en distribución y en el desarrollo de las renovables hasta la cota prevista.

A partir de 2020, sería necesario instalar potencia de respaldo en una situación mixta de nuclear y carbón con captura y secuestro de CO₂ para la creciente cobertura de la demanda eléctrica y sus picos. En lo referente a la energía nuclear, serían necesarios entre 2.600 y 3.000 MW adicionales a la potencia nuclear ya existente, que debe ser operada a largo plazo, al menos 60 años desde el inicio del funcionamiento de las instalaciones.

CONCLUSIONES

En los últimos años, el escenario energético mundial y europeo ha cambiado sustancialmente. Se ha producido un incremento muy importante de la demanda energética, particularmente de la eléctrica, aumentada de forma espectacular por el desarrollo de los países emergentes. Al mismo tiempo, ha surgido la amenaza de un cambio climático originado por el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente el dióxido de carbono, procedentes de la combustión de los combustibles fósiles. Conviene considerar que pese a las llamadas al ahorro energético –indudablemente necesario– la demanda energética va a continuar su escalada impulsada por el aumento de la población y la acelerada incorporación de las sociedades emergentes a los niveles de consumo de los países desarrollados.

Además, a más largo plazo habrá que utilizar crecientes cantidades de energía para sustituir la empleada en el sector del transporte por otra no emisora de gases de efecto invernadero (usos del vector hidrógeno en los transportes por carretera e intensificación del transporte ferroviario, por ejemplo) y para la produc-

ción de agua potable por desalación del agua del mar. Hay que esperar, por tanto, una fuerte penetración de la electricidad como sustitutiva del uso directo de los combustibles fósiles.

Ante esta situación, en el futuro va a ser necesario contar con todas las fuentes disponibles, incluida la nuclear, en un mix energético lo más equilibrado posible, de tal forma que se alcancen de forma simultánea los criterios necesarios de sostenibilidad.

La energía nuclear ofrece, a través del análisis de los parámetros que condicionan la cobertura de la demanda, soluciones positivas, que la convierten en una de las energías básicas en el panorama energético mundial, tanto presente como futuro, según recogen los organismos internacionales expertos en esta materia, como el Consejo Mundial de la Energía, la Agencia Internacional de la Energía o la Organización para el Desarrollo y Cooperación Económico. España no debe ser ajena a las consideraciones de estos organismos si no quiere perder el tren de la competitividad y el desarrollo futuros.

El coste de la energía eléctrica de origen nuclear es altamente competitivo, su impacto ambiental es nulo para los gases de efecto invernadero, su explotación es segura, está supervisada por organismos reguladores nacionales e internacionales y existen soluciones técnicas seguras para el control y el almacenamiento de sus residuos. Su aportación al desarrollo tecnológico es la más alta que ofrecen las distintas fuentes de energía. La operación a largo plazo de las centrales disminuirá aún más los costes. Las nucleares son centrales de base diseñadas para funcionar con la máxima seguridad a plena carga. Con los nuevos ciclos, la disponibilidad del combustible se extiende a decenas de miles de años. Sus efectos económicos, tanto en la renta y el empleo como en la balanza de pagos, son muy importantes. Su funcionamiento en el sistema aporta un alto grado de estabilidad. Dada su elevada capacidad de producción es, en la actualidad, una fuente indispensable para, primero, mejorar las condiciones ambientales y, segundo, compensar la pérdida de generación derivada de la disminución de la participación de los combustibles fósiles. Por otra parte, las crecientes exigencias en materia de emisiones a la atmósfera dan lugar a un progresivo encarecimiento de las tecnologías convencionales y, por ende, a una mejora de la competitividad de la energía nuclear en la producción de electricidad.

En España, las características de nuestro sistema energético, la alta dependencia exterior, el alejamiento del cumplimiento de nuestros compromisos medioambientales, la escasa eficiencia y competitividad, hacen necesario un marco estable a largo plazo, para lo que se necesita que todos los agentes económicos, políti-

cos y sociales alcancen un Pacto de Estado en materia energética.

En este sentido, es necesario tener en cuenta los retos que deben afrontarse a medio y largo plazo, de tal forma que se pueda establecer un modelo energético

sostenible en el tiempo, en el que todas las tecnologías disponibles se incorporen maximizando sus ventajas y minimizando sus inconvenientes, y del que la energía nuclear ha de ser una componente fundamental en la búsqueda de la solución a los retos planteados en el presente y en el futuro.

SOCIEDAD ESPAÑOLA



DE SANIDAD AMBIENTAL

SESA: UN FORO DE INVESTIGACIÓN Y DEBATE

La Sociedad Española de Sanidad Ambiental se constituyó con el objetivo prioritario de servir de foro para agrupar a las personas físicas o jurídicas, cuyas actividades profesionales o científicas se desenvuelven en el campo de la Sanidad Ambiental. Su finalidad es favorecer el intercambio de conocimientos en los campos de la investigación, gestión, formación de personal o cualquier otro que contribuya al desarrollo y difusión de la Sanidad Ambiental.

Con independencia, objetividad y profesionalidad, la SESA quiere comprometerse con la sociedad española a dar una respuesta científica a los rápidos cambios que se producen en el campo de la Salud y Medio Ambiente, tan necesitado de foros de exposición, intercambio y comunicación, centrándose en el estudio e identificación de los factores de riesgo ambientales y los efectos sobre la salud, aportando soluciones realistas y efectivas.

¿QUÉ ACTIVIDADES DESARROLLA LA SESA?

- Grupos de trabajo
- Jornadas científicas
 - Seminarios
 - Mesas redondas
- Revista de Salud Ambiental
- Información y estudios de Sanidad Ambiental

¿CÓMO PUEDES ASOCIARTE?

Dirigiéndote a la secretaría técnico-administrativa de la SESA:
 MasterCongresos S. L.
 C/ Ramón y Cajal 5 · 28100, Alcobendas (MADRID)
 Telf.: 911 10 37 53
sesa@mastercongresos.com

METODOLOGÍA PARA CARACTERIZAR EL RIESGO EN SITIO CONTAMINADO. CASO ABRA PAMPA (JUJUY-ARGENTINA)

METHODOLOGY FOR RISK CHARACTERIZATION IN CONTAMINATION SITE. ABRA PAMPA CASE (JUJUY-ARGENTINA)

Jorge Ricardo Castro Mariscal, Olga Noemí Saavedra, Norma Rosario Wierna, Ana Josefa Martos Mula, Margarita Ana Rojas y María Graciela Bovi Mitre

Grupo Investigación Química Aplicada (INQA). Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Jujuy, Argentina

RESUMEN

Una de las principales regiones de actividad minera del Noroeste Argentino es la Puna de Jujuy. Abra Pampa creció allí como centro de concentración de recursos y personas. Uno de sus principales establecimientos de procesamiento de minerales fue la Fundición Metal Huasi. Grandes cantidades de dreg de los procesos metalúrgicos se acumularon luego de décadas de funcionamiento, las cuales, tras el desmantelamiento de las instalaciones, a principios de los noventa, quedaron como pasivo ambiental en plena ciudad. Los efectos negativos para la salud de dichos residuos recién fueron relacionados con una situación de riesgo a mediados de la presente década. El Grupo de Investigación INQA elaboró, en colaboración con otros centros, una estrategia de intervención, que se basó en una metodología de identificación y evaluación de riesgo en sitios contaminados y que partió del reconocimiento y determinación de muestras físicas, hasta la medición de los niveles de plomo en sangre en la población infantil expuesta. Sus resultados se integrarían en un esquema de Evaluación del Riesgo. El estudio se complementó con análisis clínicos, pruebas neuroconductuales en el grupo bajo estudio, consultas e intercambio con la comunidad, además de capacitación con actores educativos locales. Como resultado principal, se confirmó a Abra Pampa como un sitio contaminado, con un nivel elevado de la población infantil afectada por la exposición y con el desafío de emprender su remediación. Aún con el estudio en fase de completar la categorización completa del riesgo, la Provincia avanzó en la remoción y traslado de las escorias, procedimiento cuyo impacto deberá someterse a nuevas evaluaciones en términos de salud de la población y el ambiente.

PALABRAS CLAVE: sitio contaminado; metodología caracterización; plomo; salud infantil; Abra Pampa (Jujuy).

INTRODUCCIÓN

La provincia de Jujuy, en Argentina, es una de las principales regiones mineras del país. La gran actividad

ABSTRACT

One of the main regions of mining activity of the Argentine Northwest is the aride land of Jujuy. There it Abra Pampa grew like center of concentration of resources and people. One of its main establishments of mineral processing was the Smeltery Metal Huasi. Great amounts of dreg of the metallurgical processes were accumulated after decades of operation, which, after the dismantling of the factory, at the beginning of the ninety, stayed as environmental liabilities in the center of the city. The negative effects for the health of these residues just were related to a situation of risk in the middle of the present decade. The Group of Investigation INQA elaborated, in collaboration with other centers, an intervention strategy, that was based on a methodology of identification and evaluation of risk in contaminated sites and it began with the recognition and determination of physical samples, until the measurement of the lead levels in blood in the exhibited infantile population. Their results would be integrated in a scheme of Evaluation of the Risk. The study was complemented with clinical analyses, neuroconductuales tests in the group under study, consultations and interchange with the community, besides qualification with local educative actors. Like main result, it was confirmed to Abra Pampa like a contaminated site, with an elevated level of the infantile population affected by the exhibition and with the challenge to undertake his remediación. Still with the study in phase to complete the complete categorisation of the risk, the Province advanced in the removal and transfer of dregs, procedure whose impact will have to be put under new evaluations in terms of health of the population and the atmosphere.

KEY WORDS: contaminated site; methodology characterization; lead; infantile health; Abra Pampa (Jujuy).

extractiva se situó históricamente en las minas de la Región Puna. Este agreste y gran espacio de movimiento de materiales, productos y personas atravesado por el corredor ferroviario y vial de la Ruta Nacio-

nal N° 9, tuvo su periodo de auge durante casi todo el siglo XX.

Un punto de convergencia de recursos y población relacionados con esta actividad es la ciudad de Abra Pampa. Situada a 220 kilómetros de la capital provincial y a 3.484 metros sobre el nivel del mar, es la cabecera del Departamento Provincial de Cochinocha y posee una población actual estimada de 13.000 personas. Con un régimen climático de amplia variación térmica, propio de la región, concentró durante décadas actividades subsidiarias de la minería. Una de ellas se desarrolló en la fundición Metal Huasi.

A un lado de la Ruta N° 9 y a tres cuadras de la Plaza Central, el establecimiento funcionó desde 1955 hasta fines de los ochenta, cuando cesó su actividad y se abandonaron sus instalaciones. A un lado de la vacía estructura quedó una montaña de residuos minerales, en su mayoría escorias de plomo (Figura 1).

Este montículo, que con sus 10 metros de altura se destacaba en el entorno de casas bajas, empezó a formar parte del paisaje de la ciudad. Lejos de percibirse como una fuente de riesgo para la salud, una parte de estos residuos fueron utilizados como material de contención para prevenir desbordes del Río Tabladitas, curso de creciente estacional que bordea el extremo norte de la ciudad. Con el paso del tiempo, estas escorias fueron arrastradas por la deriva del cauce hasta ubicarse como sedimento y material de relleno de un nuevo sector de viviendas denominado Barrio 12 de Octubre (Figura 2). En el periodo desde el desguace de Metal Huasi hasta el inicio de la investigación de INQA, solo se diagnosticaron casos aislados aunque concretos de intoxicación por plomo. La preocupación de la comunidad recién llegó a mediados de la primera década del siglo, cuando la autoridad municipal, ante la existencia de posibles nuevos casos, recurrió a la Universidad para solicitar un estudio al respecto.

Desde una definición usual en el campo de la investigación, un lugar podría ser un sitio contaminado cuando existen datos que acrediten la presencia de determinados tóxicos y de posibles fuentes de contaminación. Existen numerosos antecedentes y experiencias de investigación para el abordaje, la identificación y la remediación de sitios contaminados, así como una descripción validada de las distintas metodologías que posibilitan tal labor científica¹.

Sobre estos supuestos, en 2006 la Intendencia de Abra Pampa y la Universidad Nacional de Jujuy (UNJu) suscribieron un acuerdo para la realización de un diagnóstico de la salud pública, en particular de la salud ambiental infantil, en torno a Metal Huasi.

La investigación se encomendó al grupo interdisciplinario INQA (Investigación Química Aplicada), con



FIGURA 1. Vista del montículo principal de escorias de Metal Huasi desde el sector de viviendas aledaño. Junio de 2006.

sede en la Facultad de Ingeniería de la UNJu y con una extensa trayectoria en la investigación sobre agentes tóxicos vinculados con la actividad productiva y la población humana. Para tal propósito, el INQA acordó con otros centros académicos y de salud pública, un marco de colaboración para el desarrollo del estudio, dada la complejidad del problema planteado. El equipo de trabajo se constituyó con:

- Laboratorio de Toxicología Ambiental, de la Facultad de Medicina, de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, de México. Responsable: Dr. Fernando Díaz Barriga
- Programa Nacional de Prevención y Control de Intoxicaciones, Departamento de Salud Ambiental, Dirección de Promoción y Protección de la Salud, Ministerio de Salud y Ambiente de la Nación. Responsable: Dra. Susana García
- Cátedra de Toxicología y Química Legal, de la Facultad de Farmacia y Bioquímica, de la Universidad de Buenos Aires. Responsable: Dra. Edda Villamil Lépori
- Unidad Química del Centro Atómico Constituyente, de la Comisión Nacional de Energía Atómica. Responsable: Dra. Silvia Farías
- Grupo INQA de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Nacional de Jujuy. Responsable: Dra. María Graciela Bovi Mitre

El proyecto de investigación se sustentó en la puesta en práctica de una metodología ya probada de identificación de sitios contaminados, desarrollada por la Universidad de San Luis Potosí, México². Según la misma, debían cumplirse cinco fases de intervención, desde el relevamiento y muestreo del sitio, la medición de marcadores de exposición e incidencia en la salud de la población, hasta la generación de estrategias con actores



FIGURA 2. Escorias de plomo como relleno de terrenos en el sector Barrio 12 de Octubre.

críticos de la comunidad para encarar la remediación. El proyecto finalmente recibió el nombre de “Evaluación del riesgo químico por metales tóxicos en Abra Pampa (Jujuy), asignando magnitudes y probabilidades de efectos adversos de la contaminación en el ambiente y la población infantil expuesta³”.

La finalidad de la investigación fue establecer, mediante datos científicamente válidos, si la ciudad de Abra Pampa era un sitio contaminado, si merecía ser intervenido ambientalmente y si se hacía necesario proteger a sus pobladores y los organismos de la biota propia del lugar (plantas y animales), utilizando para ello la metodología de caracterización de riesgo de referencia²).

MATERIAL Y MÉTODO

El montículo de escoria en el centro de Abra Pampa estaba compuesto por 6.298,5 m³ de residuos en la pila principal, más 106,5 m³ en otra adyacente y un total de 73,64 m³ de humos blancos, los cuales, sumados a otras cantidades menores de escoria, humos blancos y finos de carbón, constituyeron un total de 6.550,5 m³ de pasivo ambiental. Además, una gran cantidad no cuantificada de dicha escoria había sido utilizada como material de relleno y nivelación del Barrio 12 de octubre.

El estado físico de los residuos de mineral variaba desde trozos relativamente grandes de material vitrificado, hasta partículas pulverulentas que estaban sujetas a la dispersión por los fuertes vientos de la zona, lo que supuso que existía un mayor radio de terreno afectado en el sitio.

La metodología utilizada en la investigación fue la Evaluación Integral del Riesgo. La misma fue elaborada y

validada por el Laboratorio de Toxicología Ambiental, de la Facultad de Medicina, de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, de México. Tiene como objetivo asignar magnitudes y probabilidades a los efectos adversos de la contaminación y la organización de sus fases, según la propuesta metodológica⁴ adaptada para el caso Abra Pampa, fue:

- Etapa 1. Visita al terreno para reconocer el área de estudio, identificar las fuentes potenciales de contaminación y georreferenciar los sitios claves. Descripción y caracterización de Abra Pampa para establecer si corresponde a un sitio contaminado.
- Etapa 2. Elaboración de una propuesta de análisis de la contaminación ambiental por metales tóxicos y análisis ambiental. Esto permite caracterizar Abra Pampa y estimar la exposición de la población, si la hubiere.
- Etapa 3. Estudio poblacional que incluye: evaluación bioquímica (plombemias), evaluación clínica y radiológica, evaluación neuroconductual. Capacitación en comunicación de riesgo y educación ambiental.
- Etapa 4. Almacenamiento y análisis de la información. Diseño de una base de datos y cálculo de las probabilidades para los principales factores de riesgo.
- Etapa 5. Integración de los resultados y redacción del informe final.
- Etapa 6. Elaboración de estrategias de seguimiento y evaluación de las intervenciones realizadas. Al final se propondrán líneas de intervención para disminuir el riesgo, para la prevención de daño y control.

En este contexto, el primer paso de la investigación de INQA fue la realización, en conjunto con el municipio local, de una reunión plenaria con referentes comunitarios (líderes municipales y de la comunidad, referentes de las áreas educativa, de organizaciones sociales, salud pública y vecinos). En la oportunidad se presen-

taron los responsables de la investigación, se expuso el plan de trabajo inicial, se compartió el conocimiento actual del problema y se recogieron las inquietudes de la comunidad. El director del centro colaborador del proyecto de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (México), quien fue invitado especialmente para el lanzamiento del proyecto, explicó los riesgos para la salud y el ambiente que supone la presencia de plomo en un sitio.

Luego de una primera actividad de reconocimiento en el terreno (junio de 2006), se procedió a la inspección y descripción del sitio. Se realizó además una selección de los tipos de contaminantes a determinar, los puntos de exposición a considerar, las rutas y las vías de exposición. Se determinó también el tipo de población en situación de riesgo y se caracterizaron tanto el régimen de vientos en la ciudad como el recorrido de deriva de las aguas de lluvia en los puntos referenciados. Se realizaron entrevistas con informantes claves de la comunidad a fin de reconstruir la historia de exposición y completar el conocimiento sobre los antecedentes comprobados en la salud de los pobladores. Se pudo confirmar, en tal sentido, la exposición de los pobladores de Abra Pampa desde al menos los 20 años anteriores al trabajo del Grupo INQA.

Según un plan de muestreo (junio a septiembre de 2006) que consideraba la recolección en lugares aledaños a los sitios con escoria, se tomaron muestras de agua y de suelo para detectar la posible contaminación con plomo. En el primer caso, se recogieron siete muestras de distintas fuentes de agua potable de consumo de la población. El análisis se realizó a través del método de espectrometría de emisión atómica-plasma inductivo de argón (ICP-OES), en laboratorios de la Comisión Nacional de Energía Atómica. En el caso del suelo⁵, se tomaron un total de 10 muestras a nivel de superficie. Para la determinación de Plomo Total, se analizaron ocho muestras de suelo con el mismo método y en la misma sede arriba indicados. Se tomaron como valores de referencia para plomo, tanto los criterios internacionales⁶ como los de Argentina⁷. En tanto, para la determinación del Plomo Bioaccesible fueron analizadas siete muestras de suelo en el Laboratorio de Toxicología Ambiental, de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, para las cuales se tomaron como referencia las normativas vigentes para plomo de Estados Unidos y México, cuyo valor norma es de 400 mg/kg.

Para el estudio poblacional se utilizó un diseño descriptivo de corte transversal, se reconoció, a tal fin, la cantidad de niños residentes mayores de 5 años y menores de 14, franja de edades que se consideraría la población bajo estudio. El método estadístico aplicado correspondió a un muestreo aleatorio estratificado proporcional a la población accesible. La fuente de datos fue la matrícula de los establecimientos escolares de la localidad.

Según estos criterios, se determinó una muestra de 234 niños, representativa del grupo etéreo seleccionado. Con el previo consentimiento informado de los padres y según un procedimiento autorizado por el Comité Provincial de Bioética, se realizaron las plombemias⁸. Se recogieron 234 muestras de sangre periférica, utilizando jeringas descartables plásticas, con heparina sódica como anticoagulante. Las jeringas se sellaron y congelaron a -20°C y fueron procesadas con el método de absorción atómica por atomización electrotérmica y espectrofotométrica. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), las plombemias iguales o mayores a $10\ \mu\text{g/dL}$ se consideran como elevadas y están potencialmente asociadas a déficit neurológico infantil, pero actualmente dichos valores son cuestionados por expertos que sostienen que no pueden considerarse como valores de referencia las plombemias superiores a $5\ \mu\text{g/dL}$ debido a que, si bien hay discrepancias, el cociente intelectual puede disminuir de 0,25 a 0,5 puntos por cada microgramo de plomo que aumenta en la plombemia. Por tanto, el estudio consideró el valor de $5\ \mu\text{g/dL}$ como valor umbral a partir del cual podría verificarse daño neuromadurativo en los niños⁹.

Sobre estas determinaciones de plomo en sangre, se aplicó un sistema de información geográfica (SIG) como técnica para realizar un análisis que vinculara los valores de las plombemias con las distancias relativas de la vivienda de los niños respecto de los núcleos contaminantes¹⁰. Para tal fin, se proyectaron cinco círculos concéntricos con una separación entre ellos de 100 metros, tomando como centro a Metal Huasi. Se emplearon los programas SIG-Epi y ArcView GIS (The Geographic Information System for Everyone. Version 3.0 for Windows. ESRI 1992–1997).

Los estudios de plomo en sangre se complementaron con la realización de exámenes clínicos (noviembre de 2006) de la población en estudio. Estos se iniciaron con una evaluación antropométrica de los niños (talla y peso), que fue complementada con la toma de radiografías de huesos largos, un examen médico general y una revisión oftalmológica.

Basándose en los estudios anteriores y en los casos de presencia de valores de plomo superiores al mínimo considerado se programó la realización de pruebas neuroconductuales¹¹ a fin de medir el efecto de la contaminación sobre el desarrollo madurativo de la población infantil expuesta, utilizando el test de inteligencia WISC III.

El Grupo INQA desarrolló a la par de las actividades de investigación básica, un curso de capacitación en comunicación de riesgo y educación ambiental¹². La actividad partió de una convocatoria en las escuelas de Abra Pampa, dirigida a los docentes y también a los agentes sanitarios de las instituciones públicas de salud de la localidad. Basado en los supuestos de la ca-

pacitación en competencias, la escuela promotora de la salud y la formación de actores locales de prevención y desarrollo, el curso debía avanzar en la formulación participativa de acciones locales de reconocimiento y prevención del riesgo. La comunicación de riesgo ofrece la posibilidad de comunicar este de manera planificada y a la vez sensible a las necesidades de la comunidad; también integra a la comunidad en el proceso del manejo del riesgo.

RESULTADOS

Del análisis de plomo en suelo, los resultados (Tabla 1) confirmaron la contaminación de esta matriz, comparados con los valores de referencia (Tabla 2). Además, los valores de plomo bioaccesible advierten que hay una fracción importante del Plomo total que se encuentra disponible para ser absorbido y distribuido en el organismo humano.

Para el plomo en agua, los resultados (Tabla 3) en cuatro de las seis muestras de agua superan el límite máximo permisible de plomo para agua potable considerado¹³.

En el caso de las plumbemias, se verificó que había un 19% de niños con valores menores a 5 µg/dL; que el

52,06% tenía valores entre 5 y 10 µg/dL y un 28,4 % presentaba valores superiores a 10 µg/dL (Figura 3). Relacionado a estos resultados, se construyó un mapa georeferenciado, donde se puede constatar que a mayor cercanía de la fuente contaminante, mayor nivel de exposición. Para el radio comprendido entre los 200 y 300 metros (Figura 4), se verificó el nivel mayor de presencia del contaminante, lo cual confirma al sector del Barrio 12 de Octubre como otra fuente importante de exposición¹⁴.

En el diagnóstico clínico, los problemas más frecuentes encontrados en los niños y que se pueden asociar a

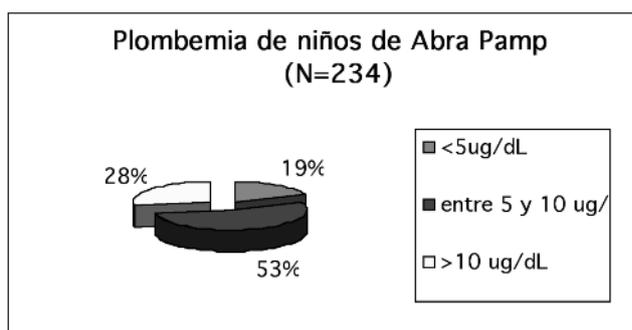


FIGURA 3. Resultado de los análisis de plumbemia de los niños de Abra Pampa

TABLA 1. Resultados de plomo total y plomo bioaccesible en el suelo de Abra Pampa

Origen de la muestra	Pb bioaccesible (ppm)	Pb total (ppm)
Barrio (residuos color blanco)	1.133	4.448 ± 220
Barrio (residuo color blanco)	6.930	8.320 ± 400
Barrio (lugar donde corre agua)	5.540	6.000 ± 300
Barrio (lugar por donde corre agua)	811	7.930 ± 400
Barrio (frente a una casa)	422	3.750 ± 190
Barrio (casa frente Metal Huasi)	—	115 ± 6
Plaza	—	80 ± 4
Calle frente a la plaza	—	23 ± 4
----	596	—
Escoria de Metal Huasi sobre la vereda	20.750	—

Muestras recogidas en sitios referenciados para el estudio de evaluación de riesgo.

TABLA 2. Valores de referencia utilizados para plomo

Metal	Uso agrícola	Uso residencial (mg/kg)	Uso industrial (mg/kg)
Pb (total)	375	500	1.000

Fuente: Ley de Residuos Peligrosos 24501, Decreto 831/93. Argentina.

TABLA 3. Resultados de Plomo en el agua de Abra Pampa

(µg/L)	Pb	Cd	As	B	V	Fe
M1	81 ± 8	< 3 D	< 10 D	434 ± 22	< 10 ND	<10 D
M2	46 ± 5	< 3 D	< 10 D	402 ± 20	< 10 ND	<10 D
C1	47 ± 5	< 3 D	< 10 D	395 ± 20	< 10 ND	<10 D
C2	55 ± 5	< 3 D	< 10 D	506 ± 25	< 10 ND	<10 D
S1	62 ± 6	< 3 D	< 10 D	400 ± 20	< 10 ND	200 ± 10
S2	54 ± 2	< 3 D	< 10 D	343 ± 15	< 10 ND	200 ± 10

Sobre 10 muestras de agua potable para consumo humano.

la que se completará cuando se concluya el trabajo de campo y se calculen las probabilidades para los principales factores de riesgo

Las pruebas neuroconductuales se están completando actualmente, lo que permitirá, luego de su integración, completar las fases finales del estudio.

A la luz de los resultados de plomo en suelo, el doctor Fernando Díaz Barriga, de la Universidad de San Luis Potosí, concluye que la mayor concentración de plomo biodisponible se encuentra en los restos de la fundición desmantelada. La recomendación para las familias que viven en torno a este sector es directamente su traslado hacia otra zona más segura y menos afectada. Pero estas recomendaciones hacia la remediación del sitio, no coincidieron en todo con las acciones finalmente emprendidas por las autoridades políticas de Jujuy.

Metal Huasi, luego de la repercusión pública (nacional e internacional) que tomó el caso, al conocerse y discutirse los resultados del estudio del Grupo INQA, elevó su consideración como una zona prioritaria de evaluación y posterior recomposición a nivel nacional, por lo que se incorporó al Programa de Gestión Ambiental Minera (GEAMIN). Este programa fue gestionado por el organismo minero nacional ante el Banco In-

teramericano de Desarrollo (BID), para financiar acciones tendientes al fortalecimiento de la gestión ambiental sustentable en el sector productivo minero nacional.

En 2008, el Gobierno de la Provincia de Jujuy inició el tratamiento de los residuos con el traslado del material contaminante (Figura 6) a un denominado centro de disposición final, localizado en la localidad puneña de



FIGURA 6. Vista del predio de Metal Huasi mientras se realizaba el traslado de la montaña de escoria.

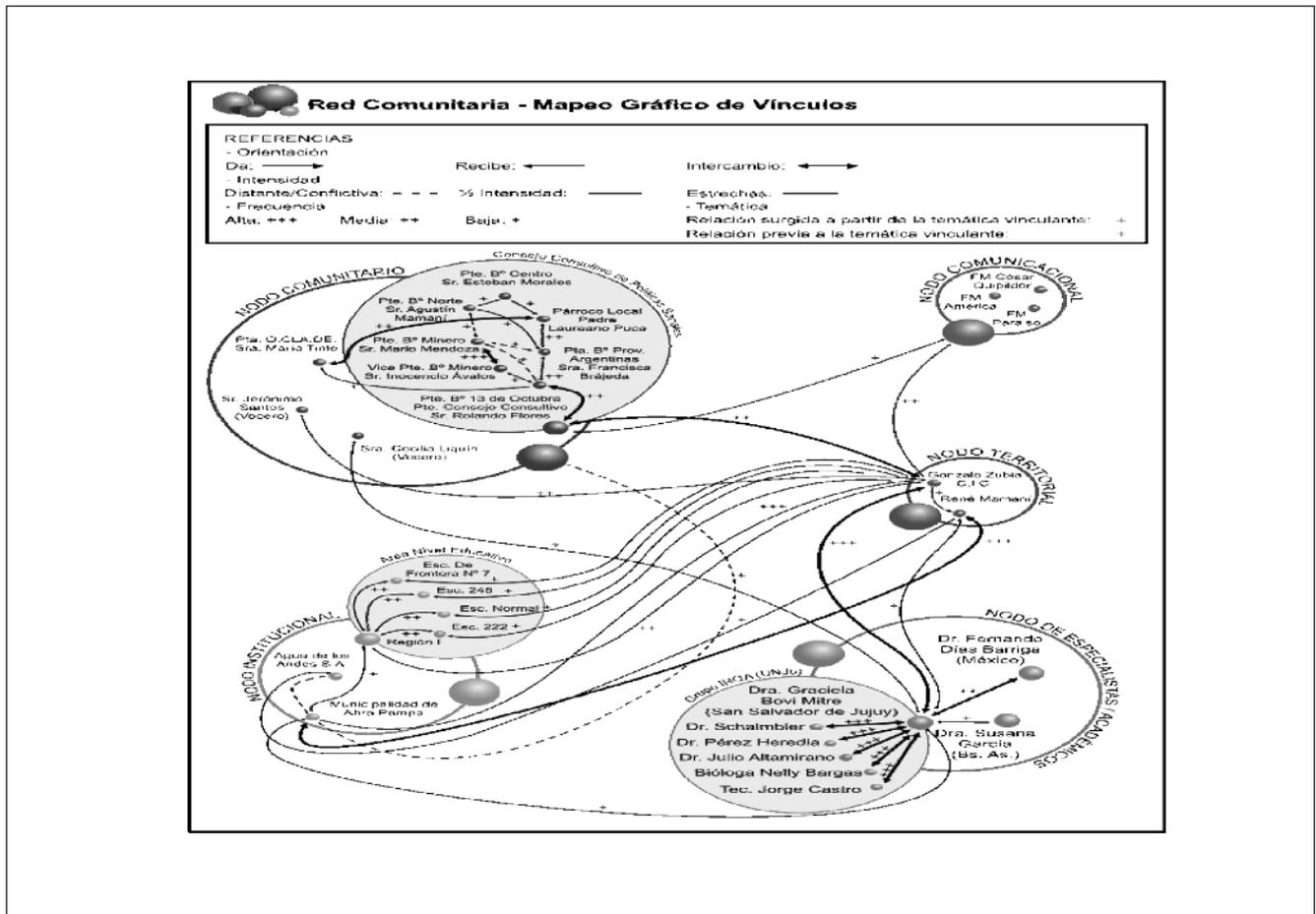


FIGURA 5. Mapa de actores comunitarios de Abra Pampa vinculados con el problema ambiental y caracterización de sus relaciones en la red.

Mina El Aguilar, sede de la compañía Minera Aguilar, uno de los principales centros de extracción. Al mismo tiempo, la autoridad de política sanitaria de la provincia anunció la construcción un nuevo hospital en Abra Pampa

En agosto de 2009, la Clínica de Derechos Humanos, de la Facultad de Derecho, de la Universidad de Texas¹⁵, dio a conocer un documento crítico sobre la situación actual de remediación del sitio por parte de las autoridades provinciales, que objeta la metodología utilizada y advierte sobre los nuevos y peores riesgos que la misma acarrearía para la población de Abra Pampa. El informe fue en principio desestimado por las autoridades de salud pública de Jujuy.

El Gobierno de Jujuy firmó a su vez, en enero del presente año, en conjunto con la Secretaría de Minería de la Nación, un contrato para la adjudicación del estudio de los pasivos ambientales de la exfundición Metal Huasi en Abra Pampa. La empresa peruana Cesel S. A., adjudicataria de la obra, tiene a su cargo en la actualidad la evaluación y el diseño del Plan de Remediación Ambiental de los espacios afectados, así como la ejecución de obras para el traslado del resto de las escuelas que todavía quedan en la ciudad.

BIBLIOGRAFÍA

1. ATSDR, Environmental data hended for public health assessments. A guidance manual. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. US Department of Health and Human Services: Atlanta (Georgia); 1994.
2. Díaz-Barriga, F. Metodología de identificación y evaluación de riesgos para la salud en sitios contaminados, Lima (Perú): Organización Panamericana de la Salud/CEPIS/PUB/99.34; 1999.
3. Facultad de Ingeniería (UNJu), Resolución N° 089/06. Evaluación del riesgo químico por metales tóxicos en Abra Pampa, asignando magnitudes y probabilidades de efecto adverso de la contaminación en el ambiente y la población infantil expuesta (2006-2008).
4. Mejías J, Yañez L, Carrizales L, Díaz Barriga F. Evaluación integral del riesgo en sitios contaminados (Una propuesta metodológica) *Scientiae Naturae* 2001;4(1):25-42.
5. Vargas N, Tschambler J, Wierna N, Avila N, Fariás S, Díaz Barriga, F, Bovi Mitre G. Estudio de niveles de Plomo en suelos de la localidad de Abra Pampa, Jujuy. En: XV Congreso Argentino de Toxicología, 26 al 28 de septiembre 2007, Neuquén. Libro de resúmenes; p. 49.
6. Madhavan S, Rosenman KD, Saeta T. Lead in soil: recommended maximum permissible levels. *Env Res* 1989;49:136-42.
7. Ley de Residuos peligrosos. Ley N° 24051-92. Decreto 831/93. Generación, manipulación, transporte y tratamiento. Boletín Oficial, 17 de enero de 1992.
8. Saavedra N, Wierna N, Campos E, Vargas N, Pérez G, Villamil E, Tschambler J, Romero A, Bovi Mitre G. Niveles de Plomo en sangre de niños de Abra Pampa (Jujuy-Argentina). En: XV Congreso Argentino de Toxicología, 26 al 28 de septiembre 2007, Neuquén. Libro de resúmenes; p. 56.
9. CDC. Interpreting and Managing Blood Lead Levels <10 g/dL in Children and Reducing Childhood Exposures to Lead. 2007;56 (RR08);1-14;16.
10. Ruggeri MA, Tschambler J, Zubia GF, Bovi-Mitre MG. Georreferenciamiento de Plombemias de una población infantil de la Localidad de Abra Pampa, Provincia de Jujuy-Argentina. En: XV Congreso Argentino de Toxicología, 26 al 28 de septiembre 2007. Neuquén. Libro de resúmenes; p. 48-9.
11. Martos-Mula AJ, Ruggeri MA, Wierna N, Saavedra N, Altamirano J, Ríos F, Bovi Mitre G. Diseño para una investigación sobre el efecto del Plomo sobre las funciones cognitivas en niños de la Puna jujeña. En: 10th International Symposium on Neurobehavioral Methods and Effects in Environmental and Occupational Health, Heredia (Costa Rica). 11 al 13 de junio 2008; p. 227.
12. Castro JR, Zubia GF, Bovi Mitre MG. Capacitación y acción comunitaria en un sitio contaminado con Plomo. El caso Abra Pampa. En: XV Congreso Argentino de Toxicología, 26 al 28 de septiembre 2007, Neuquén. Libro de resúmenes; p. 77.
13. Secretaría de Políticas, Regulación y Relaciones Sanitarias. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos. Código Alimentario Argentino. Resolución Conjunta 68/2007 y 196/2007. Modificación. Sustituye el Art. 982 del C.A.A. Boletín Oficial, 30 de mayo.
14. Ruggeri MA, Zubia GF, Romero AE, Avila Carrera N, Tschambler JA, Bovi Mitre MG. Georreferenciamiento: una herramienta utilizada para analizar y diagnosticar sitios contaminados en la Provincia de Jujuy-Argentina. *Rev Toxicol (España)* 2009;26:131-6.
15. Clínica de Derechos Humanos, de la Facultad de Derecho, de la Universidad de Texas. Abra Pampa: pueblo contaminado, pueblo olvidado. La lucha por los derechos a la salud y a un ambiente sano en Argentina. Agosto 2009. www.utexas.edu/law/academics/clinics/abra-pampa-es.pdf

EXPOSICIÓN A PLAGUICIDAS CON TOXICIDAD DÉRMICA EN AGRICULTORES DE LA COMUNITAT VALENCIANA

EXPOSURE TO PESTICIDES WITH DERMAL TOXICITY IN FARMERS OF COMMUNITY OF VALENCIA

Caterina Brandon Garcia, María del Carmen Vicente Sender, Joan Gassó Pla y Máximo Pérez Gonzalvo

Centro de Salud Pública. Departamento de Salud Xàtiva-Ontinyent. Direcció General de Salut Pública. Conselleria de Sanitat. Generalitat Valenciana

RESUMEN

Introducción: La vía dérmica tiene importancia toxicológica, además de como entrada de sustancias, por los frecuentes efectos locales. En aplicaciones de plaguicidas realizadas por agricultores resulta habitual e importante la exposición dérmica a plaguicidas, por lo que la vía dérmica en este sector de actividad puede resultar de especial relevancia.

Objetivo: Conocer los riesgos cutáneos de los agricultores que utilizan plaguicidas, para poder así proponer medidas preventivas específicas.

Material y métodos: Se realizó un estudio descriptivo transversal basado en un cuestionario diseñado por los investigadores, contestando al mismo 238 asistentes a cursos para obtener el carné de manipulador de plaguicidas de nivel básico del Departamento de Salud Xàtiva-Ontinyent (Valencia) en 2009. Se recogieron los plaguicidas utilizados en los últimos 12 meses y se revisaron sus frases R (frases de riesgo), buscando especialmente efectos dérmicos.

Resultados: El 55% de los plaguicidas tenían alguna frase R relacionada con problemas dérmicos. La R38 "Irrita la piel" fue encontrada en 16 productos, utilizados por un 59,05% de los encuestados y la R43 "Posibilidad de sensibilización en contacto con la piel" en 7, utilizados por un 23,91%.

Conclusiones: La irritación cutánea fue el efecto relacionado con la vía dérmica más asociado a estos plaguicidas. Resulta necesario poner énfasis en la protección de la piel en los cursos para trabajadores que aplican estos productos. Los problemas cutáneos deben incluirse entre los daños por exposición laboral a plaguicidas.

PALABRAS CLAVE: plaguicida; frase de riesgo; exposición; piel; dérmica; prevención; Comunitat Valenciana.

INTRODUCCIÓN

El conocimiento que progresivamente se va adquiriendo sobre la toxicidad de las sustancias químicas permi-

ABSTRACT

Introduction: Dermal route has a toxicological importance, as well as substances such as entry, but by frequent local effects. In applications of pesticides by farmers is common and important the dermal exposure to pesticides, so the dermal route in this sector of activity could be of particular relevance.

Objective: To determine the hazard of dermal exposure in farmers using pesticides and to propose specific preventive measures.

Material and methods: A transversal descriptive study based on a questionnaire designed by the researchers, replying to the 238 attendees at the courses for pesticide handler card basic level Department of Health Xativa-Ontinyent (Valencia) in 2009. Pesticides used were collected over the past 12 months and reviewed their R phrases (risk phrases) looking for dermal effects.

Results: 55% of pesticides had some phrase R on skin problems. The phrase R38 "Irritating to skin" was found in 16 products, used by 59.05% of respondents and the R43 "Possibility of sensitization by skin contact" at 7, used by 23.91%.

Conclusions: The skin irritation effect was related to more dermal exposure to these pesticides. It is necessary to emphasize the skin protection in the courses for workers who apply these products. Skin problems should be included damages for workplace exposure to pesticides.

KEY WORDS: pesticide; risk phrase; exposure; skin; prevention; Community of Valencia

te evidenciar que, además de la vía de absorción inhalatoria y digestiva, el paso de sustancias a través de la piel puede llegar a constituir una vía de importancia toxicológica por sí misma o bien contribuir a la toxicidad

Correspondencia: Caterina Brandon Garcia · Centro de Salud Pública de Xàtiva. Plaza La Seu, 2 - 46800 Xàtiva (València) · Telf: 96 227 61 89; Fax: 96 227 61 15 · brandon_cat@gva.es

general de las sustancias absorbidas por otras vías, además de los efectos locales de tipo irritativo, alérgico, etc. que se pueden producir en contacto sobre la misma piel. A menudo, estos aspectos no se tienen suficientemente en cuenta en la prevención de los riesgos laborales¹.

Los productos químicos que entran en contacto con la piel pueden tener un efecto local a nivel cutáneo o, por absorción a través de la piel, pueden penetrar en el organismo y llegar a otros órganos internos provocando su efecto en estos. Cuando un agente químico tiene esa capacidad de penetración cutánea, se tiene que considerar la vía dérmica como fuente de exposición laboral con posible efecto a nivel general de otros órganos².

En el caso de las exposiciones ocupacionales a plaguicidas, la vía dérmica puede resultar de gran relevancia dado que un elevado número de plaguicidas no causan efectos locales perceptibles por el trabajador. Esta exposición inadvertida puede producir, consecuentemente, una mayor absorción del producto en cuestión.

La Comunitat Valenciana tiene amplia experiencia en actividades preventivas con productos químicos, especialmente con plaguicidas, encontrándose entre estas la organización de los cursos dirigidos a manipuladores de plaguicidas fitosanitarios, debido, en parte, al elevado uso de los mismos por el tipo de cultivos existentes. No obstante, el conocimiento sobre la penetración de agentes químicos por vía dérmica es aún limitado y sigue siendo tema de investigación³.

Con este estudio se pretende evaluar los riesgos derivados de la exposición dérmica de agricultores que utilizan plaguicidas para el control de las plagas de sus cultivos, con el fin de proponer medidas preventivas específicas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó un estudio de tipo descriptivo transversal basado en un cuestionario diseñado por los investigadores. Contestaron al cuestionario 238 asistentes a cursos para la obtención del carné de manipulador de plaguicidas de nivel básico del departamento de salud Xàtiva-Ontinyent, de la provincia de Valencia, realizados a lo largo del año 2009.

En el cuestionario se recogieron los plaguicidas utilizados los últimos 12 meses y se revisaron sus frases R (frases de riesgo) buscando, especialmente, efectos dérmicos, para lo que se consultó el Registro de Productos Fitosanitarios, a través de la web del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Las frases R son frases tipo que indican los riesgos específicos derivados de los peligros que tienen los agentes químicos y vienen definidas por la normativa sobre notifica-

ción, clasificación, envasado y etiquetado de sustancias y preparados (Reales Decretos 363/1995 y 255/2003, respectivamente).

Se tuvieron en cuenta también otras cuestiones como edad, nivel de estudios, frecuencia de uso de plaguicidas, percepción del riesgo, etc., dado que el riesgo viene determinado, además, por otros parámetros como la magnitud de la exposición o cantidad de producto con la que se va a entrar en contacto, la duración y frecuencia del contacto, etc³.

RESULTADOS

La mayoría de los encuestados (97,48%) eran hombres, según se muestra en la figura 1.

La edad media de los participantes en el estudio fue de 49 años, con un rango comprendido entre 18 y 88 años. No obstante, según se muestra en la figura 2 se puede observar que la distribución por grupos etarios fue bastante variada. No participaron menores de 18 años, dado que la edad mínima establecida para poder trabajar con productos químicos peligrosos es de 18 años. Respecto al límite de 65 años, correspondiente a la edad de jubilación, no implica, en el caso de aplicación de fitosanitarios, un cese en esta actividad por cuenta propia, fundamental en la agricultura valenciana, hecho que se refleja en los datos, siendo un 7,98% de encuestados mayores de 68 años.

Cabría resaltar que un 49,58% del total de encuestados son menores de 48 años, dato interesante a valorar en

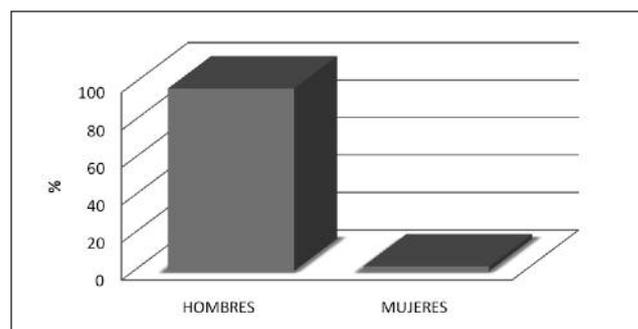


FIGURA 1. Distribución por sexos.

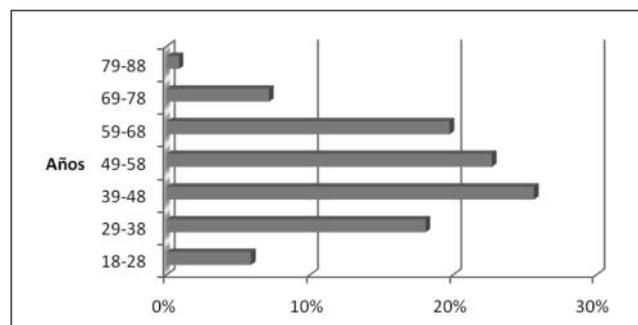


FIGURA 2. Distribución por grupos etarios.

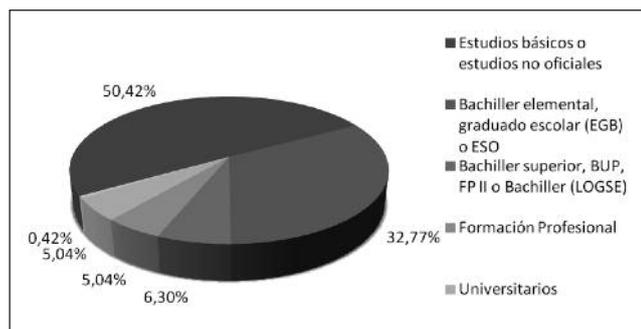


FIGURA 3. Nivel de estudios.

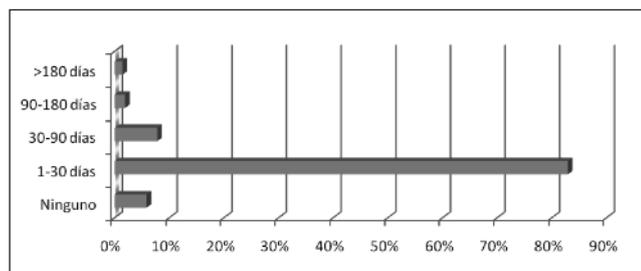


FIGURA 4. Uso de plaguicidas. Jornadas trabajadas el último año.

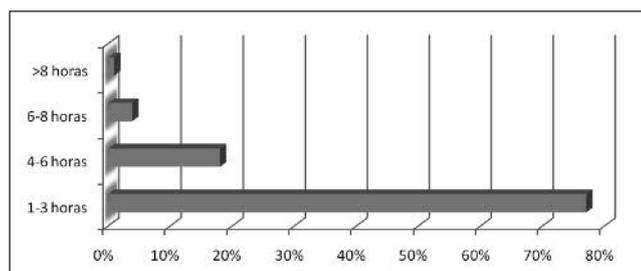


FIGURA 5. Exposición a plaguicidas. Jornada laboral en horas/día.

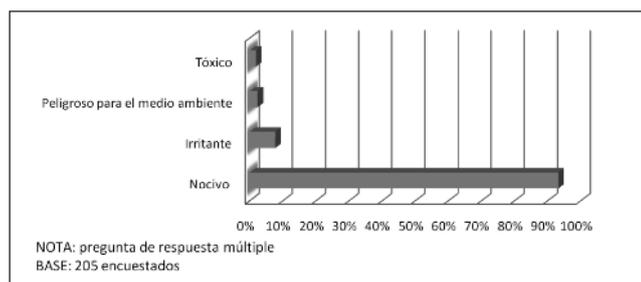


FIGURA 6. Categoría toxicológica de los plaguicidas.

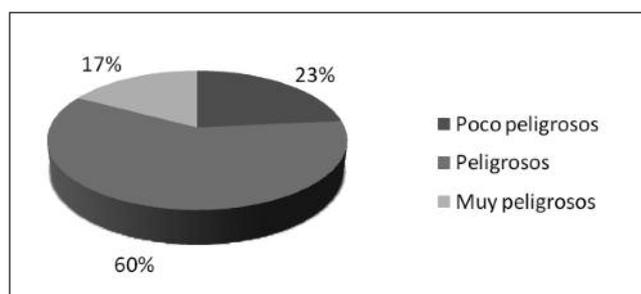


FIGURA 7. Percepción de peligrosidad de los plaguicidas.

la realización de actividades de educación para la salud que pretendan corregir hábitos laborales.

En cuanto a la formación inicial, los estudios básicos o no oficiales son los más frecuentes (50,42%) entre los encuestados (Figura 3).

A pesar de que los cursos para manipuladores de plaguicidas tienen como finalidad la obtención del carné de manipulador de plaguicidas, el cual autoriza para su uso como aplicador profesional, el 86,13% de las personas asistentes a dichos cursos habían aplicado plaguicidas en alguna ocasión antes de empezar a realizar el curso. Únicamente un 13,87% (33 personas) no había aplicado nunca anteriormente estos productos.

Aunque no puede utilizarse como promedio anual, dada la variabilidad estacional y de plagas cada año, resulta interesante cuantificar el tiempo de exposición, por lo que se optó por preguntar sobre las aplicaciones realizadas en los últimos 12 meses. El 82,93% de los aplicadores había trabajado con plaguicidas en el último año una media de 1 a 30 días, con un promedio de 1 a 3 horas diarias (Figuras 4 y 5).

La mayoría (93,17%) de los plaguicidas utilizados en los últimos 12 meses estaban clasificados como nocivos y unos pocos (1,95%) como tóxicos (Figura 6).

Un 59,51% de los aplicadores consideraba los plaguicidas que utilizaba como peligrosos. No obstante, un 23,41% de ellos los juzgaba como “poco peligrosos” (Figura 7).

Refirieron leer la etiqueta de los plaguicidas un 78,54% de los aplicadores, los cuales manifestaron leerla, sobre todo, en el momento previo a la preparación del producto (76,14%), siendo menor el número de encuestados que la leían en el momento de la adquisición de los productos (47,21%) (Tablas 1 y 2).

De los 38 productos utilizados por los encuestados, al menos 21 tenían asociada una frase R relacionada con problemas dérmicos, encontrándose distintas frases R relativas a problemas dérmicos en varios productos, según se muestra en la tabla 3. Asimismo, se tuvieron en cuenta otros tipos de riesgos o efectos sobre la salud, como se puede observar en dicha tabla.

TABLA 1. Hábito de lectura de la etiqueta de los plaguicidas

	N	%
Sí	161	78,54
No	8	3,9
A veces	36	17,56
TOTAL	205	100

TABLA 2. Momento de lectura de la etiqueta

	N	%
En el momento de la compra	93	47,21
En el momento previo a la preparación del producto	150	76,14
Cuando tengo algún problema con el producto	7	3,55
Otros	1	0,51

NOTA: pregunta de respuesta múltiple

Base: 197 encuestados

TABLA 3. Porcentaje de uso de los plaguicidas según las frases R asociadas

	% de plaguicidas con la frase R asociada	% de uso de los plaguicidas
R20 Nocivo por inhalación.	26,31	64,9
R38 Irrita la piel.	42,10	59,05
R22 Nocivo por ingestión.	39,47	56,12
R41 Riesgo de lesiones oculares graves.	18,42	53,68
R63 Posible riesgo durante el embarazo de efectos adversos para el feto.	7,89	29
R60 Puede perjudicar la fertilidad.	7,89	29
R43 Posibilidad de sensibilización en contacto con la piel.	18,42	23,91
R65 Nocivo: si se ingiere puede causar daño pulmonar.	15,79	16,11
R67 La inhalación de vapores puede provocar somnolencia y vértigo.	7,89	10,74
R23 Tóxico por inhalación.	2,63	6,34
R21 Nocivo en contacto con la piel.	5,26	2,93
R35 Provoca quemaduras graves.	2,63	0,98

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

A pesar de que el grupo estudiado utiliza muchos plaguicidas nocivos y algunos tóxicos existe bajo nivel de exposición por el tiempo dedicado a la aplicación de plaguicidas (aplicando en su mayoría solo de 1 a 3 horas, de 1 a 30 días al año), con un riesgo de daño por exposición a plaguicidas inicialmente bajo. Este resultado era esperable, dado que los cursos a los que asistieron estos trabajadores eran de nivel básico. Este tipo de cursos están dirigidos a auxiliares de tratamiento y a agricultores que utilicen plaguicidas en sus propias explotaciones, por lo que se entiende que la mayoría de encuestados no se dedicaban profesionalmente a la aplicación de plaguicidas, sino que aplicaban para sus propias explotaciones.

No obstante, el riesgo de daño por exposición a plaguicidas podría aumentar por la percepción, de casi un 24% de los encuestados, de los plaguicidas como poco peligrosos, pudiendo no tomar las precauciones y las medidas preventivas adecuadas. Este dato coincide con el estudio de AM García, en el que aprecian que un 21% de los encuestados consideraban nulo el nivel de riesgo⁶.

Por otro lado, la cumplimentación de las encuestas se ha visto limitada por las características demográficas de los encuestados: nivel de estudios básicos y edad avanzada, en casi un 8%; dificultades visuales de los encuestados que necesitaban gafas para leer y no las traían al curso y, también, problemas de comprensión de las preguntas manifestadas durante su implementa-

ción. Si los encuestados mostraron estas limitaciones, se podría pensar que presentarían, igualmente, dificultades en la lectura y/o comprensión de las etiquetas.

En cuanto a la vía dérmica, el aspecto diferencial más importante respecto de la vía inhalatoria y de la digestiva es que el trabajador, en la mayoría de las ocasiones y según las propiedades físico-químicas del plaguicida, no percibe que la absorción y penetración del plaguicida se está produciendo desde el momento en que este entra en contacto con la piel.

La alteración de la piel por la irritación previa o por otros factores, como quemaduras o excoiraciones, pueden favorecer la absorción por la piel y el efecto tóxico de otros plaguicidas o productos químicos utilizados. En el grupo estudiado, la irritación de la piel fue uno de los efectos más presentes entre los plaguicidas que utilizaban (en un 42% de los plaguicidas que empleaban), además de ser muy frecuente el uso de estos plaguicidas (los utilizaban un 59% de los aplicadores). Por lo que la irritación no debería ser infravalorada por tratarse de un efecto de tipo local y se habría de tener suficientemente en cuenta en la prevención de riesgos laborales.

No obstante, se constata que la vía dérmica no resulta la principal vía de exposición para el grupo de encuestados, siendo el grupo de plaguicidas con riesgo por vía inhalatoria (R 20: Nocivo por inhalación) los más utilizados por los aplicadores del estudio (en un 65%).

A pesar de que la vía digestiva (R 22: Nocivo por ingestión) resultó encontrarse en un grupo de plaguicidas

utilizados en un 56% de los encuestados, teniendo en cuenta que en el ámbito laboral es la vía de exposición de menor importancia, excepto en caso de ingestión involuntaria, por ejemplo al confundir el plaguicida con una bebida, o voluntaria, por intento de suicidio, no se debería incluir como vía de exposición de relevancia para el grupo de estudio⁵. Por lo tanto, se puede concluir que tanto la vía de exposición respiratoria como la dérmica deberían ser protegidas en la misma medida para el grupo de estudio.

Asimismo, en las actividades formativas dirigidas a estos aplicadores se debería transmitir esta idea, dado que estos cursos resultan ser un contexto muy oportuno en el que realizar educación para la salud dirigida, entre otros objetivos, a que el aplicador incorpore técnicas de prevención y protección para preservar su salud⁷.

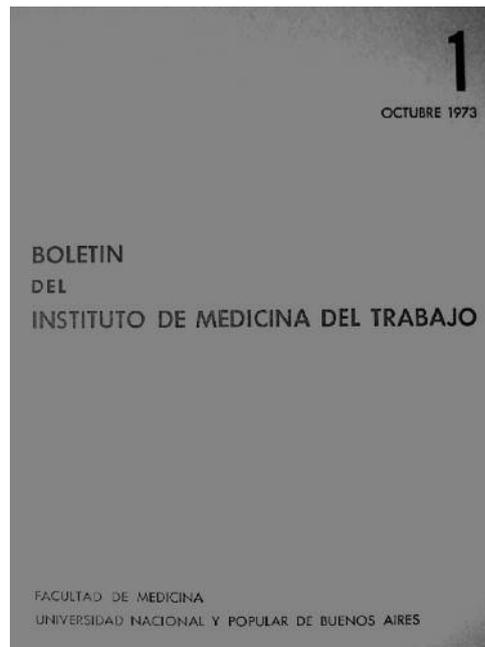
BIBLIOGRAFÍA

1. Huici Montagud A, Alonso Espadalé RM. Propiedades fisicoquímicas relevantes en la prevención del riesgo químico. *Notas Técnicas de Prevención. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.* 2004;663.
2. Guimaraens D. Exposición dérmica laboral. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo; 2005.
3. Van Der Haar R, Fortuny Ormad D, Àvila Castells P. Exposición dérmica laboral a sustancias químicas: un riesgo a considerar. *MC Salud Laboral* 2008;7:12-3 y 8:18-9.
4. Cohen Gómez E. Guantes de protección contra productos químicos. *Notas Técnicas de Prevención. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.* 2006;748.
5. Protano C, Guidotti M, Vitali M. Performance of Different Work Clothing Types for Reducing Skin Exposure to Pesticides During Open Field Treatment. *Bull Environ Contam Toxicol* 2009;83:115-9.
6. García AM, Ramírez A, Lacasaña M. Prácticas de utilización de plaguicidas en agricultores. *Gac Sanit.* 2002; 16(3):236-40.
7. Martí Boscà JV, Santolaria Bartolomé E, Villanueva Ballester V, et al. Plaguicidas agrícolas: vigilancia sanitaria. Valencia: Conselleria de Sanitat i Consum. Generalitat Valenciana; 1993.
8. González Asensi FJ, Martí Boscà JV, De la Puerta Castelló L, editores. Manual para la obtención del carné de manipulador de plaguicidas de uso fitosanitario. Nivel cualificado. Valencia: Conselleria de Agricultura, Pesca y Alimentación y Conselleria de Sanitat. Generalitat Valenciana; 2002.
9. Durham W, Wolfe HR. Measurement of the exposure of workers to pesticides. *Bull World Health Organ* 1962;26(1):75-91.
10. Vickers C, coord. *Environmental Health Criteria 235: Dermal Absorption*, Geneva: World Health Organization; 2006.
11. Van Hemmen JJ, Auffarth J, Evans PG, et al. RISKOF-*DERM: Risk Assessment of Occupational Dermal Exposure to Chemicals. An Introduction to a Series of Papers on the Development of a Toolkit.* *Ann. occup. Hyg.* 2003;47(8):595-8.

EL INSTITUTO DE MEDICINA DEL TRABAJO

THE INSTITUTE OF OCCUPATIONAL MEDICINE

José Vicente Martí Boscà



De la Colección Mario Testa, disponible en el portal del Instituto de Salud Colectiva. UNLa.

En esta narración volvemos a Argentina, lo que es, siempre, algo más que interesante, necesario. Contaré algunos datos de esta precursora y breve institución desde mis acercamientos sucesivos.

En la primera mitad de la década de los 80, ejercían su actividad y magisterio, vinculados a centros sindicales o municipales, un grupo de médicos argentinos dedicados a una orientación novedosa de la medicina del trabajo, con gran implicación en salud pública y epidemiología, que denominábamos salud laboral. Destacaban los doctores Ricardo Saiegh y Carlos Aníbal Rodríguez, en Barcelona, y Roberto Donalisio, en Madrid. Era evidente que su presencia en España estaba vinculada a los sucesos recientes en su país, un exilio forzoso del que tenemos buena experiencia en nuestro país. En Valencia, pudimos disfrutar de algunos cursos y sesiones con Susana Greco, Roberto Donalisio y, con más amplitud, de Carlos Aníbal Rodríguez. Por él conocimos una institución universita-

ria argentina que durante unos pocos –muy pocos años en realidad– formó al mismo tiempo a profesionales de la salud, trabajadores y sindicalistas, planteando un modelo rupturista de las disciplinas tradicionales de la seguridad e higiene del trabajo; Saiegh había sido su director y Rodríguez el subdirector, allá en la primera mitad de la década anterior. Fueron unas pocas noticias sobre este organismo de la Universidad de Buenos Aires, curiosamente coincidente con bastantes premisas del modelo italiano de la *medicina del lavoro*, el otro del que recibíamos un aprendizaje novedoso. Unos años después, con el retorno de la democracia, algunos de ellos regresaron a su país, donde han desarrollado importantes responsabilidades en el ámbito de la salud, como es el caso de Carlos Aníbal Rodríguez, que ocupó la Dirección Nacional del Trabajo y, en la actualidad, es ministro de Trabajo y Seguridad Social en el Gobierno Provincial de Santa Fe, aunque sin perder vinculación su con los profesionales españoles.

En los primeros meses de 2007 recibí un curioso correo, no tanto por su contenido como por origen. Un correo personal sin que en su dirección apareciera el dominio propio de las comunicaciones electrónicas institucionales. También era inusual la dirección de correo utilizada como destino de la notificación, ni era ni el de la universidad ni el de la Administración autonómica, los dos de uso habitual en las comunicaciones científicas o profesionales, lo habían enviado a un antiguo correo personal casi en desuso. Su contenido, por el contrario, era muy claro: la propuesta de evaluación de un proyecto de investigación para una agencia argentina, adjuntando los habituales formularios y recomendaciones. La carga de trabajo en esas fechas aconsejaba razonablemente desistir de esta tarea con cualquier pretexto, pero, siguiendo el error que conlleva la curiosidad, la lectura del proyecto en cuestión eliminó cualquier reticencia. Se trataba de recuperar la documentación sobre el Instituto de Medicina del Trabajo, una efímera pero avanzada institución que existió en la primera mitad de los años setenta en la Facultad de Medicina, de la Universidad de Buenos Aires. Además, la investigación quería recoger la memoria de los principales protagonistas del Instituto. El nombre y resto de circunstancias recordaban a aquel en que habían ejercido algunos de mis maestros.

La investigación propuesta, seria y austera, estaba liderada por un destacado profesor universitario de salud pública, con el soporte de un interesante equipo de investigadores. La idea era atractiva, de forma especial para los que hemos trabajado en la historia social de la medicina española, en concreto, sobre las primeras décadas del siglo XX. Conocemos bien la carestía de estudios durante la vida de buena parte de sus protagonistas, concretamente de los que, sometidos al exilio o a la represión de la posguerra, habían fallecido cuando se iniciaron la mayor parte de las indagaciones históricas, que con su participación pudieran haber facilitado en gran manera.

Además, la diáspora provocada por la represión en Argentina –la misma que acabó bruscamente con el Instituto de Medicina del Trabajo– era la que había aportado a nuestro país ese grupo de profesionales que, coincidentes en el tiempo con la renovación e impulso de la salud pública y, de forma especial, de la salud laboral, tuvieron un destacado papel en este proceso.

Era evidente que unos comentarios recogidos en los descansos de la formación, casi un cuarto de siglo antes del proyecto, no permiten evaluar con rigor el interés y utilidad de su recuperación documental. La búsqueda bibliográfica sobre el Instituto mostró la ausencia de trabajos científicos sobre él; Internet tan solo aportó algunas referencias indirectas a través de comentarios, currículos o entrevistas de algunos de sus participantes. Con la necesaria reserva de los fines, consulté al profesor Carlos Aníbal Rodríguez. Me confirmó que, pese a

las reiteradas peticiones, tampoco él había narrado la experiencia ni sabía que nadie lo hubiera hecho. Era una de esas actuaciones que, pese a su interés e impacto diferido, parecen condenadas al olvido.

La riqueza de una situación novedosa, en un contexto social y político concreto, que permitió el compromiso de una entidad universitaria con los trabajadores y sus organizaciones, recuperando la importancia del subjetivismo de la visión de la población en riesgo al conocimiento técnico de los profesionales, todo ello con una dimensión epidemiológica de los problemas de salud laboral, era ya una base adecuada para evaluar el proyecto sin antecedentes concretos. Casi en el tiempo requerido, el informe estaba en el curioso correo del solicitante, del que no supe nada más y, solo cuando reiteré el envío con la excusa del acuse de recibo, dio una respuesta difusa sobre el certificado de la evaluación que ni recibí ni había solicitado.

En la actualidad, ubicado en el Instituto de Salud Colectiva, de la Universidad Nacional de Lanús, el lector interesado puede consultar un sugestivo repositorio con documentos, publicaciones, imágenes y entrevistas con nueve de los más destacados protagonistas del Instituto de Medicina del Trabajo. Su contextualización histórica, la vinculación con la izquierda peronista, emergente entonces en la Universidad de Buenos Aires –que no por casualidad pasó a denominarse Nacional y Popular–, sus proyectos de colaboración sindical, con una relación en la que el habitual paternalismo de los profesionales con los trabajadores estaba siendo abandonado para dar sus mejores frutos, las prácticas de formación conjuntas... Pero no solo es un buen instrumento para la historia de la salud laboral en Argentina, el profesional español actual puede recuperar los contenidos que conformaron las prácticas de trabajo que tuvieron importancia en la renovación de esta disciplina en nuestro país hace un cuarto de siglo y, quizá, seguir aprendiendo a actualizarla.

PARA SABER MÁS

Para introducirse en la historia de Instituto de Medicina del Trabajo es recomendable leer un interesante artículo vinculado al proyecto escrito por dos de sus impulsores¹; en realidad, es la primera publicación científica sobre esta institución y nos proporciona una visión completa sobre ella.

Luego, procede la consulta documental en las pestañas CEDOPS/Instituto de Medicina del Trabajo, del portal del Instituto de Salud Colectiva², organismo universita-

¹Martin AL, Spinelli H. Para que el hombre vuelva a cantar mientras trabaja. El Instituto de Medicina del Trabajo (IMT) y la salud de los trabajadores. *Salud Colectiva*. 2011;7(2):177-97.

²<http://www.unla.edu.ar/espacios/institutoSaludcolectiva/index.ph>

rio argentino que desde la revista homónima, las colecciones de libros y sus cursos de formación se esfuerza en la tarea de modernizar la salud pública suramericana, algo que no parece alejado de unos cuantos proyec-

tos que se están fraguando en nuestro país. Aprender de la innovación y de las experiencias de ese otro gran país americano, podría ayudar a sustentar con mayor rigor los de este lado del Atlántico.

SOCIEDAD ESPAÑOLA



DE SANIDAD AMBIENTAL

SESA: UN FORO DE INVESTIGACIÓN Y DEBATE

La Sociedad Española de Sanidad Ambiental se constituyó con el objetivo prioritario de servir de foro para agrupar a las personas físicas o jurídicas, cuyas actividades profesionales o científicas se desenvuelven en el campo de la Sanidad Ambiental. Su finalidad es favorecer el intercambio de conocimientos en los campos de la investigación, gestión, formación de personal o cualquier otro que contribuya al desarrollo y difusión de la Sanidad Ambiental.

Con independencia, objetividad y profesionalidad, la SESA quiere comprometerse con la sociedad española a dar una respuesta científica a los rápidos cambios que se producen en el campo de la Salud y Medio Ambiente, tan necesitado de foros de exposición, intercambio y comunicación, centrándose en el estudio e identificación de los factores de riesgo ambientales y los efectos sobre la salud, aportando soluciones realistas y efectivas.

¿QUÉ ACTIVIDADES DESARROLLA LA SESA?

- Grupos de trabajo
- Jornadas científicas
 - Seminarios
 - Mesas redondas
- Revista de Salud Ambiental
- Información y estudios de Sanidad Ambiental

¿CÓMO PUEDES ASOCIARTE?

Dirigiéndote a la secretaría técnico-administrativa de la SESA:

MasterCongresos S. L.
 C/ Ramón y Cajal 5 · 28100, Alcobendas (MADRID)
 Telf.: 911 10 37 53
sesa@mastercongresos.com

NOTICIAS SESA

NUEVA LEGISLATURA Y NUEVA JUNTA DIRECTIVA (2010-2013)

El pasado día 15 de abril, coincidiendo con la realización de la 19ª Jornada de la Sociedad Española de Sanidad Ambiental (SESA) titulada Radiaciones ionizantes y salud, celebrada en Granada, tuvo lugar la asamblea que eligió a la nueva Junta Directiva de la SESA para esta próxima legislatura.

La candidatura, encabezada por José M.ª Ordóñez Iriarte, presentó un programa cuyo compromiso es continuar la labor que vino realizando la Junta Directiva anterior.

El programa se sustenta en un conjunto de actividades que la Junta Directiva entrante intentará llevar a cabo a lo largo de los años 2010-2013.

Se destacan las siguientes actividades:

- Potenciar las iniciativas que se pongan en marcha desde el Ministerio de Sanidad, Política Social e Igualdad y Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino para llevar a cabo el Plan Nacional de Salud y Medio Ambiente, Plan en el que, en su día, colaboró de forma muy estrecha, la SESA.
- Conocer las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades para poner en marcha en España el Primer Estudio Nacional de Vigilancia Biológica Humana a Productos Químicos. Para conocer estos aspectos SESA organizará una jornada específica en la que se recabará el apoyo del conjunto de investigadores más relevantes que trabajan en nuestro país en esta área de la salud pública.
- Apoyar y colaborar en la redacción del Informe Cambio climático y salud en España que sea capaz de identificar las amenazas más relevantes que podrían afectar a la población señalando para cada caso los colectivos más vulnerables.
- Intentar poner en marcha los indicadores European Environment and Health Information System (ENHIS) para el conjunto de las comunidades autónomas que permita dibujar el mapa de la situación de los riesgos ambientales más relevantes, que sirva para comparar entre ellas y con datos globales de la Unión Europea y también para ver en perspectiva los avances que se vayan dando con la implementación de distintos programas.
- Potenciar REVISTA DE SALUD AMBIENTAL. Como órgano oficial de la SESA que es, la revista juega un papel muy importante, por lo que es conveniente que se dote de una estructura de dirección que posibilite su salida en los tiempos y en la forma establecida.
- Dinamizar la página web de la SESA dado que es

muy visitada, tanto por público en general como por profesionales que demandan información veraz sobre los riesgos ambientales.

- Constitución de grupos de trabajo que intenten dar respuesta a problemas percibidos por los técnicos de sanidad ambiental de las comunidades autónomas. Es el caso de los informes sanitarios que son demandados para los estudios de evaluación de impacto ambiental.
- Colaboración con Iberoamérica. Esta es otra línea de trabajo muy querida por la SESA porque puede permitir intercambiar experiencias y abordajes de la sanidad ambiental con países con los que se comparte una lengua común.

El equipo que conforma la actual Junta Directiva está formado por las siguientes personas:

- Presidente: José M.ª Ordóñez Iriarte (Farmacéutico, Comunidad de Madrid).
- Vicepresidente: Ángel Gómez Amorín (Biólogo, Xunta de Galicia)
- Secretaria: Guadalupe Martínez Juárez (Bióloga, Castilla-La Mancha)
- Tesorero: José Jesús Guillén Pérez (Médico, Área de Cartagena)
- Vocales:
 - Emiliano Aránguez Ruiz (Geógrafo, Comunidad de Madrid).
 - Covadonga Caballo Diéguez (Bióloga, Ministerio Sanidad).
 - Ana Fresno Ruiz (Bióloga; Ministerio Medio Ambiente).
 - Saúl García dos Santos-Alves (Farmacéutico, CNSA).
 - Antonio López Lafuente (Farmacéutico, Univ. Complutense).
 - Isabel Marín Rodríguez (Farmacéutica, Junta de Andalucía).
 - Teresa Martín Zuriaga (Farmacéutica, DG de Aragón).
 - M.ª Luisa Pita Toledo (Farmacéutica; Gobierno de Canarias).

Tras la toma de posesión de la nueva Junta Directiva, el presidente entrante agradeció a la asamblea la confianza depositada en la candidatura elegida.

También manifestó su agradecimiento a la Junta Directiva saliente por los esfuerzos desarrollados y por haber puesto el listón de la sanidad ambiental muy alto, reto que le va a resultar difícil superar. Muchos de los componentes de la Junta saliente llevaban varios años al frente de responsabilidades orgánicas dentro de la SESA y han creado una masa crítica importante de tal forma que hay dos aspectos que el

nuevo presidente resaltó: uno que se generó una inercia en salud ambiental que será difícil parar; la otra es que a SESA se le conoce en el ámbito de la salud pública española pero también en el ámbito de la sociedad civil.

El presidente acabó su intervención emplazando a la nueva Junta Directiva a su primera reunión de trabajo en Madrid, en la nueva sede donde se llevarán a cabo

las reuniones que es el Colegio Oficial de Farmacéuticos de Madrid.

Granada, 15 de abril de 2010

Sociedad Española de Sanidad Ambiental



SOLICITUD DE SUSCRIPCIÓN A REVISTA DE SALUD AMBIENTAL

APELLIDOS y NOMBRE _____

ORGANISMO (si procede) _____ D.N.I./N.I.F. _____

DIRECCIÓN PARA CORRESPONDENCIA:

Para el caso que sea dirección profesional, especificar el organismo:

CALLE _____

N.º _____ ESCALERA _____ PISO _____ PUERTA _____

CIUDAD _____ PROVINCIA _____ C. P. _____

TELÉFONO/S DE CONTACTO _____

DOMICILIACIÓN DE LA SUSCRIPCIÓN

DATOS BANCARIOS

BANCO o CAJA _____

SUCURSAL/AGENCIA _____

DIRECCIÓN DE LA AGENCIA _____

CÓDIGO DE LA LIBRETA O CUENTA CORRIENTE:

ENTIDAD

--	--	--	--

SUCURSAL

--	--	--	--

D. C:

--	--

NÚMERO

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Fecha y Firma

Sello entidad

- Para remitir este boletín de suscripción, previamente debe ser sellado por la oficina de su sucursal bancaria para que se efectúe el pago de la suscripción anual a cargo de su cuenta cuando se presenten por parte de la SESA.
- Suscripción anual: 25 €. Ejemplar suelto: 16 €. Ejemplar doble: 28 €

Dirigirse a la secretaría técnico-administrativa de la SESA: MasterCongresos S. L.
C/ Ramón y Cajal 5 · 28100 Alcobendas (MADRID)
Telf: 911 10 37 53 · sesa@mastercongresos.com



SOLICITUD DE INSCRIPCIÓN A LA SESA

APELLIDOS _____

NOMBRE _____ D.N.I./N.I.F. _____

DIRECCIÓN PARA CORRESPONDENCIA:

Para el caso que sea dirección profesional, especificar el organismo:

CALLE _____

N.º _____ ESCALERA _____ PISO _____ PUERTA _____

CIUDAD _____ PROVINCIA _____ C. P. _____

TELÉFONO/S DE CONTACTO _____

CORREO ELECTRÓNICO _____

DATOS PROFESIONALES:

TITULACIÓN ACADÉMICA _____

CENTRO DE TRABAJO _____ CARGO _____

En _____ a _____ de _____ de 200__

Firmado



DOMICILIACIÓN DE LAS CUOTAS

DATOS BANCARIOS

BANCO o CAJA _____

SUCURSAL/AGENCIA _____

DIRECCIÓN _____

CÓDIGO DE LA LIBRETA O CUENTA CORRIENTE:

ENTIDAD

--	--	--	--

SUCURSAL

--	--	--	--

D. C:

--	--

NÚMERO

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Fecha y Firma

Sello entidad

- Para remitir esta hoja de inscripción, previamente debe ser sellado por la oficina de su sucursal bancaria para que se efectúe el pago de las cuotas anuales a cargo de su cuenta cuando se presenten por parte de la SESA.
- Cuotas: 45 € para los socios numerarios; 400 € para los socios colaboradores.

Dirigirse a la secretaría técnico-administrativa de la SESA: MasterCongresos S. L.
C/ Ramón y Cajal 5 · 28100 Alcobendas (MADRID)
Telf: 911 10 37 53 · sesa@mastercongresos.com

NORMAS DE PUBLICACIÓN

REVISTA DE SALUD AMBIENTAL Sociedad Española de Sanidad Ambiental

TIPOS DE ARTÍCULOS

REVISTA DE SALUD AMBIENTAL consta de las siguientes secciones:

• Originales

Trabajos de investigación, artículos de revisión y estudios de casos y análisis de actuaciones sobre salud y medio ambiente (sanidad ambiental, higiene alimentaria, salud laboral, laboratorios de salud pública y toxicología). Tendrán la siguiente estructura: resumen, palabras clave, texto (introducción, material y métodos, resultados y discusión), agradecimientos y bibliografía. La extensión máxima del texto será de 12 hojas tamaño DIN-A4, mecanografiadas a doble espacio, utilizando letra Arial 11, admitiéndose un máximo de seis figuras y seis tablas. Es aconsejable que el número de autores no sobrepase los seis.

• Colaboraciones especiales

El texto tendrá una extensión máxima de 15 hojas de tamaño DIN-A4, mecanografiadas a doble espacio, utilizando letra Arial 11. La bibliografía no será superior a las 100 citas. Opcionalmente el trabajo podrá incluir tablas y figuras.

• Noticias SESA

Sección dedicada a las actividades y proyectos concretos de la Sociedad y a proporcionar a los asociados información de interés técnico o normativo.

• Otras secciones

REVISTA DE SALUD AMBIENTAL incluye otras secciones tales como editoriales, cartas al director, reseñas de libros, etc.

ESTRUCTURA DE LOS TRABAJOS

Las siguientes normas de publicación son un resumen de los "Requisitos de uniformidad para manuscritos presentados a revistas biomédicas" (estilo Vancouver) 5ª edición, elaborados por el Comité Internacional de Editores de Revistas Médicas, publicadas en: Rev Esp Salud Pública 1997; 71:89-102.

Los manuscritos, con la correspondiente numeración, se presentarán de acuerdo al siguiente orden: página del título, resumen, texto, bibliografía, tablas, pies de figuras y figuras.

• Página del título

En esta página se indicarán los siguientes datos:

- Título del artículo (conciso pero informativo).
- Nombre y dos apellidos de cada uno de los autores.
- Nombre completo del centro de trabajo de cada uno de los autores.
- Nombre y dirección completa, del responsable del trabajo o del primer autor, incluyendo número de teléfono y del telefax y dirección del correo electrónico si dispone de ella.
- Becas o ayudas para la subvención del trabajo y otras especificaciones, cuando se considere necesario.

• Resumen y palabras clave

Se incluirá en la segunda página, con una extensión máxima de 250 palabras. Se describirá de forma concisa el motivo de la investigación, la manera de llevar a cabo la misma, los resultados más destacados y las principales conclusiones del trabajo.

Debajo del resumen se especificarán de 3 a 10 *palabras clave* que identifiquen el contenido del trabajo para su inclusión en los repertorios y bases de datos.

Tanto el título como el resumen y las palabras clave deben ir acompañadas de su traducción al inglés.

• Texto

Las páginas siguientes serán las dedicadas al texto del artículo. Los artículos originales deben ir divididos en los siguientes apartados: Introducción, Material y métodos, Resultados y Discusión. Algún tipo de artículos, como revisiones, presentaciones de casos, etc, pueden precisar otro formato diferente.

• **Introducción.** Debe indicar con claridad y de forma resumida los fundamentos del trabajo y la finalidad del mismo, no incluyendo datos o conclusiones del trabajo que se publica.

• **Material y métodos.** Debe describir claramente la metodología utilizada, incluyendo la selección de personas o material estudiado, indicando los métodos, aparatos y/o procedimientos con suficiente detalle para permitir reproducir el estudio a otros investigadores. Se expondrán los métodos estadísticos y de laboratorio empleados. Cuando se trate de trabajos experimentales en los que se hayan utilizado grupos humanos o animales, indicar las normas éticas seguidas por los autores. Los estudios experimentales en humanos deberán contar con la correspondiente aprobación. Cuando se haga referencia a productos químicos o medicamentos debe indicarse el nombre genérico.

• **Resultados.** Los resultados deben ser concisos y claros, incluyendo el mínimo necesario de tablas y figuras, de modo que no exista repetición de datos en el texto, y en las figuras y tablas.

• **Discusión.** Se considerarán los resultados presentados comparándolos con otros publicados, así como las conclusiones y aplicaciones. No deberán repetirse con detalle los resultados del apartado anterior y las conclusiones se apoyarán en los resultados del trabajo.

• Agradecimientos

Cuando se considere necesario se citará a las personas, centros o entidades que hayan colaborado en la realización del trabajo sin llegar a la calificación de autor.

• Bibliografía

Las referencias bibliográficas se presentarán según el orden de aparición en el texto con la correspondiente numeración correlativa en números arábigos en superíndices. A continuación citamos algunos ejemplos:

• Artículos de revistas

Vega KJ, Pina I, Krevsky B. Heart Transplantation is associated with an increased risk for pancreaticobiliary disease. *Ann Intern Med* 1996;124:980-3.

• Libros y otras monografías

Ringsven MK, Bond D. Gerontology and leadership skills for nurses. 20 ed. Albany (NY): Delmar Publishers;1996.
Institute of Medicine (US). Looking at the future of the Medicaid programme. Washington (DC): The Institute; 1992.

• Capítulo de libro

Phillips SJ, Whisnant JP. Hypertension and stroke. En: Laragh JH, Brenner BM, editores. Hypertension: pathophysiology, diagnosis and management. 20 ed. Nueva York: Raven Press;1995. p. 465-78.

• Actas de conferencias

Kimura J, Shibasaki H, editores. Recent advances in clinical neurophysiology. Proceedings of the 10th International Congress of EMG and Clinical Neurophysiology; 1995 Oct 15-19; Kyoto, Japón. Amsterdam: Elsevier; 1996.

• Documentos legales

Real Decreto 202/2000, de 11 de febrero, por el que se establecen las normas relativas a los manipuladores de alimentos. BOE núm. 48, de 25 de febrero.

• Internet

Donaldson L, May R. Health implications of genetically modified foods. 1999, Disponible en: www.doh.gov.uk/gmfood.htm.

• Tablas

Las tablas se presentarán en hojas aparte del texto, una hoja por tabla, numeradas correlativamente con números arábigos, título en la parte superior y con las pertinentes notas explicativas al pie.

• Figuras

Deberán ir numeradas consecutivamente, según el orden de aparición en el texto, en números arábigos. El pie contendrá la información necesaria para interpretar correctamente la figura sin recurrir al texto.

PRESENTACIÓN DE MANUSCRITOS Y PROCESO EDITORIAL

Los manuscritos se enviarán por triplicado a REVISTA DE SALUD AMBIENTAL, mecanografiados a doble espacio, utilizando letra tipo Arial 11, en folios DIN A4, dejando márgenes laterales, superior e inferior de 2,5 cm. Se acompañarán de una carta de presentación, firmada por todos los autores, en la que se solicitará la evaluación de los mismos para su publicación en alguna de las secciones de la revista, con indicación expresa de tratarse de un trabajo original, no haber sido difundido ni publicado anteriormente, excepto en forma de resumen, y únicamente ser enviado a REVISTA DE SALUD AMBIENTAL para su evaluación y publicación.

La redacción de REVISTA DE SALUD AMBIENTAL acusará recibo a los autores de los trabajos que le lleguen y posteriormente informará de su aceptación o rechazo.

Los manuscritos serán revisados de forma anónima por evaluadores externos. La redacción de REVISTA DE SALUD AMBIENTAL se reserva el derecho de rechazar los artículos que no juzgue apropiados para su publicación, así como el de introducir modificaciones de estilo para adaptarse a las normas de publicación, comprometiéndose a respetar el contenido del original.

El manuscrito definitivo será enviado por los autores por duplicado, incluyendo el correspondiente disquete e indicando el programa utilizado.

Cuando el artículo se halle en prensa, el autor recibirá las pruebas impresas para su corrección, que deberá devolver a la redacción de la revista dentro de las 72 horas siguientes a su recepción.

REVISTA DE SALUD AMBIENTAL no devolverá los manuscritos originales, hayan sido aceptados o no para su publicación.

Una vez publicado cada número de REVISTA DE SALUD AMBIENTAL, los autores de los trabajos publicados en él recibirán cada uno dos ejemplares del mismo.

RESPONSABILIDADES ÉTICAS

Se incluirá el permiso de publicación por parte de la institución que haya financiado la investigación, si procede.

El envío del manuscrito implica que éste no ha sido publicado anteriormente y que no está considerándose para su publicación en otra revista, libro, etc.

La responsabilidad de obtener los correspondientes permisos para reproducir parcialmente material de otras publicaciones corresponde a los autores.

REVISTA DE SALUD AMBIENTAL declina cualquier responsabilidad sobre posibles conflictos derivados de la autoría de los trabajos que se publiquen

REVISTA DE SALUD AMBIENTAL no acepta la responsabilidad de las afirmaciones realizadas por los autores.

COPYRIGHT. Cuando el manuscrito es aceptado para su publicación, los autores ceden de forma automática la *copyright* a la Sociedad Española de Sanidad Ambiental. Ninguno de los trabajos publicados en REVISTA DE SALUD AMBIENTAL, podrá ser reproducido, total o parcialmente, sin la autorización escrita de la Sociedad Española de Sanidad Ambiental.

SALUD COLECTIVA

Publicación científica cuatrimestral de la Universidad Nacional de Lanús



 Espacio editorial para el pensamiento crítico en el campo de lo social

 Calidad científica y rigor metodológico

 Apertura multidisciplinaria

INDICADORES BIBLIOMÉTRICOS

Journal Citation Reports
(Thomson Reuters)
Factor de Impacto (2009): 0.324

SCOPUS (Elsevier)
SJR (2009): 0.032
SNIP (2009): 0.36
H INDEX (2009): 2

SciELO Argentina
Factor de Impacto (2009)
Período de tres años: 0.3333
Período de dos años: 0.2895

DISPONIBLE A TEXTO COMPLETO EN:

<http://www.scielo.org.ar/>
<http://redalyc.uaemex.mx>
<http://www.doaj.org>
<http://dialnet.unirioja.es>

www.unla.edu.ar/public/saludColectivaNuevo/index.php

Informes: revistasaludcolectiva@yahoo.com.ar

 **ACCESO
ABIERTO**

 Indizada en:
Scopus, SciELO, Social
Sciences Citation Index,
HAPI, PASCAL, Redalyc,
Dialnet, DOAJ, LILACS,
Free Medical Journals,
CLASE, Ulrichsweb,
HINARI.