

Normas de seguridad del OIEA

para la protección de las personas y el medio ambiente

Evaluación prospectiva del impacto radiológico ambiental de instalaciones y actividades

Patrocinada conjuntamente por
el Organismo Internacional de Energía Atómica y
el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente



IAEA



environment

United Nations
Environment Programme

Guía de Seguridad General

Nº GSG-10



IAEA

Organismo Internacional de Energía Atómica

NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA Y PUBLICACIONES CONEXAS

NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA

Con arreglo a lo dispuesto en el artículo III de su Estatuto, el OIEA está autorizado a establecer o adoptar normas de seguridad para proteger la salud y reducir al mínimo el peligro para la vida y la propiedad, y a disponer lo necesario para aplicar esas normas.

Las publicaciones mediante las cuales el OIEA establece las normas pertenecen a la *Colección de Normas de Seguridad del OIEA*. Esta colección abarca la seguridad nuclear, radiológica, del transporte y de los desechos. La colección comprende las siguientes categorías: **Nociones Fundamentales de Seguridad, Requisitos de Seguridad y Guías de Seguridad**.

Para obtener información sobre el programa de normas de seguridad del OIEA puede consultarse el sitio del OIEA:

www.iaea.org/es/recursos/normas-de-seguridad

En este sitio se encuentran los textos en inglés de las normas de seguridad publicadas y de los proyectos de normas. También figuran los textos de las normas de seguridad publicados en árabe, chino, español, francés y ruso, el *Glosario de Seguridad Tecnológica del OIEA* y un informe de situación sobre las normas de seguridad que están en proceso de elaboración. Para más información se ruega ponerse en contacto con el OIEA en la dirección: Vienna International Centre, PO Box 100, 1400 Viena, Austria.

Se invita a los usuarios de las normas de seguridad del OIEA a informar al Organismo sobre su experiencia en la utilización de las normas (por ejemplo, si se han utilizado como base de los reglamentos nacionales, para realizar exámenes de la seguridad o para impartir cursos de capacitación), con el fin de asegurar que sigan satisfaciendo las necesidades de los usuarios. Se puede hacer llegar la información a través del sitio del OIEA o por correo postal a la dirección anteriormente señalada, o por correo electrónico a la dirección: Official.Mail@iaea.org.

PUBLICACIONES CONEXAS

El OIEA facilita la aplicación de las normas y, con arreglo a las disposiciones de los artículos III y VIII.C de su Estatuto, pone a disposición información relacionada con las actividades nucleares pacíficas, fomenta su intercambio y sirve de intermediario para ello entre sus Estados Miembros.

Los informes sobre seguridad en las actividades nucleares se publican como **Informes de Seguridad**, en los que se ofrecen ejemplos prácticos y métodos detallados que se pueden utilizar en apoyo de las normas de seguridad.

Existen asimismo otras publicaciones del OIEA relacionadas con la seguridad, como las relativas a la **preparación y respuesta para casos de emergencia**, los **informes sobre evaluación radiológica**, los **informes del INSAG** (Grupo Internacional Asesor en Seguridad Nuclear), los **informes técnicos** y los **documentos TECDOC**. El OIEA publica asimismo informes sobre accidentes radiológicos, manuales de capacitación y manuales prácticos, así como otras obras especiales relacionadas con la seguridad.

Las publicaciones relacionadas con la seguridad física aparecen en la *Colección de Seguridad Física Nuclear del OIEA*.

La *Colección de Energía Nuclear del OIEA* comprende publicaciones de carácter informativo destinadas a fomentar y facilitar la investigación, el desarrollo y la aplicación práctica de la energía nuclear con fines pacíficos. Incluye informes y guías sobre la situación y los adelantos de las tecnologías, así como experiencias, buenas prácticas y ejemplos prácticos en relación con la energía nucleoelectrónica, el ciclo del combustible nuclear, la gestión de desechos radiactivos y la clausura.

EVALUACIÓN PROSPECTIVA
DEL IMPACTO RADIOLÓGICO
AMBIENTAL DE INSTALACIONES
Y ACTIVIDADES

El Estatuto del Organismo fue aprobado el 23 de octubre de 1956 en la Conferencia sobre el Estatuto del OIEA celebrada en la Sede de las Naciones Unidas (Nueva York); entró en vigor el 29 de julio de 1957. El Organismo tiene la Sede en Viena. Su principal objetivo es “acelerar y aumentar la contribución de la energía atómica a la paz, la salud y la prosperidad en el mundo entero”.

COLECCIÓN DE NORMAS DE SEGURIDAD
DEL OIEA N° GSG-10

EVALUACIÓN PROSPECTIVA
DEL IMPACTO RADIOLÓGICO
AMBIENTAL DE INSTALACIONES
Y ACTIVIDADES

GUÍA DE SEGURIDAD GENERAL

PATROCINADA CONJUNTAMENTE POR EL
ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA
Y EL PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS
PARA EL MEDIO AMBIENTE

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA
VIENA, 2024

DERECHOS DE AUTOR

Todas las publicaciones científicas y técnicas del OIEA están protegidas conforme a lo dispuesto en la Convención Universal sobre Derecho de Autor aprobada en 1952 (Ginebra) y revisada en 1971 (París). Desde entonces, la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (Ginebra) ha ampliado la cobertura de los derechos de autor para incluir la propiedad intelectual de obras electrónicas y virtuales. Podría ser necesaria una autorización para utilizar textos completos, o parte de ellos, que figuren en publicaciones del OIEA, en formato impreso o electrónico. Para obtener más detalles a ese respecto, sírvase consultar la siguiente dirección: www.iaea.org/es/publicaciones/derechos-y-permisos. Las solicitudes de información pueden dirigirse a:

Sección Editorial
Organismo Internacional de Energía Atómica
Vienna International Centre
PO Box 100
1400 Viena (Austria)
Teléfono: +43 1 2600 22529 o 22530
Correo electrónico: sales.publications@iaea.org
www.iaea.org/es/publicaciones

© OIEA, 2024

Impreso por el OIEA en Austria
Diciembre de 2024
STI/PUB/1819

EVALUACIÓN PROSPECTIVA DEL IMPACTO
RADIOLÓGICO AMBIENTAL DE INSTALACIONES
Y ACTIVIDADES
OIEA, VIENA, 2024
STI/PUB/1819
ISBN: 978-92-0-305624-3 (papel)
ISBN: 978-92-0-305724-0 (PDF)
ISSN: 1020-5837

PRÓLOGO

El OIEA está autorizado por su Estatuto a “establecer o adoptar [...] normas de seguridad para proteger la salud y reducir al mínimo el peligro para la vida y la propiedad” —normas que el OIEA debe utilizar en sus propias operaciones y que los Estados pueden aplicar mediante sus disposiciones de reglamentación de la seguridad nuclear y radiológica—. A esos efectos, el OIEA consulta con los órganos competentes de las Naciones Unidas y con los organismos especializados pertinentes. Un amplio conjunto de normas de alta calidad revisadas periódicamente es un elemento clave de un régimen de seguridad mundial estable y sostenible, como también lo es la asistencia del OIEA en la aplicación de esas normas.

El OIEA inició su programa de normas de seguridad en 1958. El énfasis puesto en su calidad, idoneidad y mejora continua ha redundado en el uso generalizado de las normas del OIEA en todo el mundo. La *Colección de Normas de Seguridad* incluye ahora principios fundamentales de seguridad unificados, que representan un consenso internacional acerca de lo que debe constituir un alto grado de protección y seguridad. Con el firme apoyo de la Comisión sobre Normas de Seguridad, el OIEA se esfuerza por promover la aceptación y el uso a escala mundial de sus normas.

Las normas solo son eficaces si se aplican adecuadamente en la práctica. Los servicios de seguridad del OIEA abarcan el diseño, la selección de emplazamientos y la seguridad técnica, la seguridad operacional, la seguridad radiológica, la seguridad en el transporte de materiales radiactivos y la seguridad en la gestión de los desechos radiactivos, así como la organización a nivel gubernamental, las cuestiones relacionadas con reglamentación y la cultura de la seguridad en las organizaciones. Estos servicios de seguridad prestan asistencia a los Estados Miembros en la aplicación de las normas y posibilitan el intercambio de experiencias y conocimientos valiosos.

La reglamentación de la seguridad es una responsabilidad nacional y muchos Estados han decidido adoptar las normas del OIEA para incorporarlas en sus reglamentos nacionales. Para las partes en las diversas convenciones internacionales sobre seguridad, las normas del OIEA son un medio coherente y fiable de asegurar el cumplimiento eficaz de las obligaciones emanadas de esas convenciones. Los órganos reguladores y los explotadores de todo el mundo también aplican las normas para mejorar la seguridad en la generación de energía nucleoelectrónica y en las aplicaciones de la energía nuclear en la medicina, la industria, la agricultura y la investigación.

La seguridad no es un fin en sí misma, sino un requisito indispensable para la protección de las personas de todos los Estados y del medio ambiente, ahora y en el futuro. Los riesgos relacionados con la radiación ionizante deben evaluarse

y controlarse sin restringir indebidamente la contribución de la energía nuclear al desarrollo equitativo y sostenible. Los Gobiernos, los órganos reguladores y los explotadores de todo el mundo deben velar por que los materiales nucleares y las fuentes de radiación se utilicen con fines beneficiosos y de manera segura y ética. Las normas de seguridad del OIEA están concebidas para facilitar esa tarea, y aliento a todos los Estados Miembros a hacer uso de ellas.

PREFACIO

Los requisitos para la protección de las personas contra las consecuencias nocivas de la exposición a la radiación ionizante, para la seguridad de las fuentes de radiación y para la protección del medio ambiente se establecen en la publicación de la categoría Requisitos de Seguridad del OIEA titulada *Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad (Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GSR Part 3)*. GSR Part 3 es una publicación patrocinada conjuntamente por la Agencia de Energía Nuclear de la OCDE, la Comisión Europea, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, el OIEA, la Organización Internacional del Trabajo, la Organización Mundial de la Salud, la Organización Panamericana de la Salud y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

Se prepararon tres Guías de Seguridad conexas a fin de proporcionar orientación genérica sobre el cumplimiento de los requisitos de la publicación GSR Part 3 para la protección del público y la protección del medio ambiente, a saber:

- la publicación N° GSG-8 de la *Colección de Normas de Seguridad del OIEA*, titulada *Protección radiológica del público y el medio ambiente*, en la que se brinda orientación sobre el marco para la protección del público y el medio ambiente;
- IAEA Safety Standards Series No. GSG-9, *Regulatory Control of Radioactive Discharges to the Environment*, en la que se ofrece orientación sobre la aplicación de los principios de la protección radiológica y los objetivos de seguridad asociados al control de las descargas, así como sobre el proceso de autorización de las descargas, y
- la publicación N° GSG-10 de la *Colección de Normas de Seguridad del OIEA*, titulada *Evaluación prospectiva del impacto radiológico ambiental de instalaciones y actividades*, en la que se describe un marco y metodologías para la realización de una evaluación prospectiva de ese tipo.

Estas tres Guías de Seguridad están patrocinadas conjuntamente por el OIEA y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), principal autoridad ambiental mundial, que establece la agenda ambiental mundial, promueve la aplicación coherente de la dimensión ambiental del desarrollo sostenible en el sistema de las Naciones Unidas, y ejerce de defensor autorizado del medio ambiente mundial. Las recomendaciones que figuran en las tres Guías de Seguridad, junto con los requisitos enunciados en la publicación GSR Part 3, ofrecen un punto de partida para incluir consideraciones ambientales

en la evaluación y gestión de las emisiones radiactivas. En ese contexto, el PNUMA promueve la aplicación de esas recomendaciones en todos sus Estados Miembros, así como su utilización como base para elaborar reglamentos nacionales de protección del medio ambiente contra los efectos nocivos de la radiación ionizante.

NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA

ANTECEDENTES

La radiactividad es un fenómeno natural y las fuentes naturales de radiación son una característica del medio ambiente. Las radiaciones y las sustancias radiactivas tienen muchas aplicaciones beneficiosas, que van desde la generación de electricidad hasta los usos en la medicina, la industria y la agricultura. Los riesgos radiológicos que estas aplicaciones pueden entrañar para los trabajadores y el público y para el medio ambiente deben evaluarse y, de ser necesario, controlarse.

Para ello es preciso que actividades tales como los usos de la radiación con fines médicos, la explotación de instalaciones nucleares, la producción, el transporte y la utilización de material radiactivo y la gestión de los desechos radiactivos estén sujetas a normas de seguridad.

La reglamentación relativa a la seguridad es una responsabilidad nacional. Sin embargo, los riesgos radiológicos pueden trascender las fronteras nacionales, y la cooperación internacional ayuda a promover y aumentar la seguridad en todo el mundo mediante el intercambio de experiencias y el mejoramiento de la capacidad para controlar los peligros, prevenir los accidentes, responder a las emergencias y mitigar las consecuencias nocivas.

Los Estados tienen una obligación de diligencia, y deben cumplir sus compromisos y obligaciones nacionales e internacionales.

Las normas internacionales de seguridad ayudan a los Estados a cumplir sus obligaciones dimanantes de los principios generales del derecho internacional, como las que se relacionan con la protección del medio ambiente. Las normas internacionales de seguridad también promueven y afirman la confianza en la seguridad, y facilitan el comercio y los intercambios internacionales.

Existe un régimen mundial de seguridad nuclear que es objeto de mejora continua. Las normas de seguridad del OIEA, que apoyan la aplicación de instrumentos internacionales vinculantes y la creación de infraestructuras nacionales de seguridad, son una piedra angular de este régimen mundial. Las normas de seguridad del OIEA constituyen un instrumento útil para las partes contratantes en la evaluación de su desempeño en virtud de esas convenciones internacionales.

LAS NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA

Las normas de seguridad del OIEA se basan en el Estatuto de este, que autoriza al OIEA a establecer o adoptar, en consulta y, cuando proceda, en colaboración con los órganos competentes de las Naciones Unidas y con los organismos especializados interesados, normas de seguridad para proteger la salud y reducir al mínimo el peligro para la vida y la propiedad, y proveer a la aplicación de estas normas.

Con miras a garantizar la protección de las personas y el medio ambiente contra los efectos nocivos de la radiación ionizante, las normas de seguridad del OIEA establecen principios fundamentales de seguridad, requisitos y medidas para controlar la exposición de las personas a las radiaciones y la emisión de materiales radiactivos al medio ambiente, reducir la probabilidad de sucesos que puedan dar lugar a una pérdida de control sobre el núcleo de un reactor nuclear, una reacción nuclear en cadena, una fuente radiactiva o cualquier otra fuente de radiación, y mitigar las consecuencias de esos sucesos si se producen. Las normas se aplican a instalaciones y actividades que dan lugar a riesgos radiológicos, comprendidas las instalaciones nucleares, el uso de la radiación y de las fuentes radiactivas, el transporte de materiales radiactivos y la gestión de los desechos radiactivos.

Las medidas de seguridad tecnológica y las medidas de seguridad física tienen en común la finalidad de proteger la vida y la salud humanas y el medio ambiente. Las medidas de seguridad tecnológica y de seguridad física deben diseñarse y aplicarse en forma integrada, de modo que las medidas de seguridad física no comprometan la seguridad tecnológica y las medidas de seguridad tecnológica no comprometan la seguridad física.

Las normas de seguridad del OIEA reflejan un consenso internacional con respecto a lo que constituye un alto grado de seguridad para proteger a las personas y el medio ambiente contra los efectos nocivos de la radiación ionizante. Las normas se publican en la *Colección de Normas de Seguridad del OIEA*, que comprende tres categorías (véase la figura 1).

Nociones Fundamentales de Seguridad

Las Nociones Fundamentales de Seguridad presentan los objetivos y principios fundamentales de protección y seguridad, y constituyen la base de los requisitos de seguridad.

¹ Véanse también las publicaciones de la *Colección de Seguridad Física Nuclear del OIEA*.

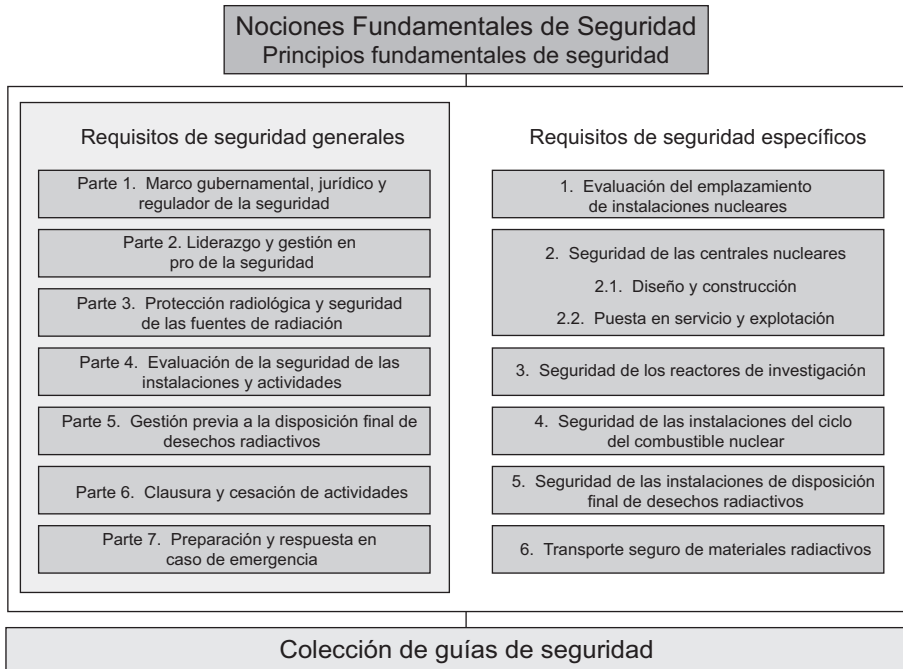


Fig.1. Estructura a largo plazo de la Colección de Normas de Seguridad del OIEA.

Requisitos de Seguridad

Un conjunto integrado y coherente de requisitos de seguridad establece los requisitos que se han de cumplir para garantizar la protección de las personas y el medio ambiente, tanto en el presente como en el futuro. Los requisitos se rigen por los objetivos y principios de las Nociones Fundamentales de Seguridad. Si los requisitos no se cumplen, deben adoptarse medidas para alcanzar o restablecer el grado de seguridad requerido. El formato y el estilo de los requisitos facilitan su uso para establecer, de forma armonizada, un marco nacional de reglamentación. En los requisitos de seguridad se emplean formas verbales imperativas, junto con las condiciones conexas que deben cumplirse. Muchos de los requisitos no se dirigen a una parte en particular, lo que significa que incumbe cumplirlos a las partes que corresponda.

Guías de Seguridad

Las guías de seguridad ofrecen recomendaciones y orientación sobre cómo cumplir los requisitos de seguridad, lo que indica un consenso internacional en el sentido de que es necesario adoptar las medidas recomendadas (u otras medidas

equivalentes). Las guías de seguridad contienen ejemplos de buenas prácticas internacionales y dan cuenta cada vez más de las mejores prácticas que existen para ayudar a los usuarios que tratan de alcanzar altos grados de seguridad. En la formulación de las recomendaciones de las guías de seguridad se emplean formas verbales condicionales.

APLICACIÓN DE LAS NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA

Los principales usuarios de las normas de seguridad en los Estados Miembros del OIEA son órganos reguladores y otras autoridades nacionales competentes. También hacen uso de las normas de seguridad del OIEA organizaciones copatrocinadoras y muchas organizaciones que diseñan, construyen y explotan instalaciones nucleares, así como organizaciones en las que se usan radiaciones o fuentes radiactivas.

Las normas de seguridad del OIEA se aplican, según el caso, a lo largo de toda la vida de todas las instalaciones y actividades —existentes y nuevas— que tienen fines pacíficos, y a las medidas protectoras destinadas a reducir los riesgos existentes en relación con las radiaciones. Los Estados también pueden usarlas como referencia para sus reglamentos nacionales relativos a instalaciones y actividades.

De conformidad con el Estatuto del OIEA, las normas de seguridad tienen carácter vinculante para el OIEA en relación con sus propias operaciones, así como para los Estados en relación con las operaciones realizadas con la asistencia del OIEA.

Las normas de seguridad del OIEA también constituyen la base de los servicios de examen de la seguridad que este brinda; el OIEA recurre a esos servicios en apoyo de la creación de capacidad, incluida la elaboración de planes de enseñanza y la creación de cursos de capacitación.

Los convenios internacionales contienen requisitos similares a los que figuran en las normas de seguridad del OIEA y tienen carácter vinculante para las partes contratantes. Las normas de seguridad del OIEA, complementadas por convenios internacionales, normas de la industria y requisitos nacionales detallados, forman una base coherente para la protección de las personas y el medio ambiente. Existen también algunos aspectos de la seguridad especiales que se deben evaluar a nivel nacional. Por ejemplo, muchas de las normas de seguridad del OIEA, en particular las que tratan aspectos relativos a la seguridad en la planificación o el diseño, se conciben con el fin de aplicarlas principalmente a nuevas instalaciones y actividades. Es posible que algunas instalaciones existentes construidas conforme a normas anteriores no cumplan plenamente los requisitos especificados en las normas de seguridad del OIEA. Corresponde a

cada Estado decidir el modo en que deberán aplicarse las normas de seguridad del OIEA a esas instalaciones.

Las consideraciones científicas en las que descansan las normas de seguridad del OIEA proporcionan una base objetiva para la adopción de decisiones acerca de la seguridad; sin embargo, las instancias decisorias deben también formarse opiniones fundamentadas y determinar la mejor manera de equilibrar los beneficios de una medida o actividad con los riesgos radiológicos conexos y cualquier otro efecto perjudicial a que pueda dar lugar esa medida o actividad.

PROCESO DE ELABORACIÓN DE LAS NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA

En la elaboración y el examen de las normas de seguridad participan la Secretaría del OIEA y cinco comités de normas de seguridad, que se ocupan de la preparación y respuesta para casos de emergencia (EPreSC), la seguridad nuclear (NUSSC), la seguridad radiológica (RASSC), la seguridad de los desechos radiactivos (WASSC) y el transporte seguro de materiales radiactivos (TRANSSC), así como la Comisión sobre Normas de Seguridad (CSS), que supervisa el programa de normas de seguridad del OIEA (véase la figura 2).

Todos los Estados Miembros del OIEA pueden designar expertos para que participen en los comités de normas de seguridad y formular observaciones sobre los proyectos de normas. Los miembros de la Comisión sobre Normas de Seguridad son designados por el Director General y figuran entre ellos altos funcionarios gubernamentales encargados del establecimiento de normas nacionales.

Se ha creado un sistema de gestión para los procesos de planificación, desarrollo, examen, revisión y establecimiento de normas de seguridad del OIEA. Ese sistema articula el mandato del OIEA, la visión relativa a la futura aplicación de las normas de seguridad, las políticas y las estrategias, y las correspondientes funciones y responsabilidades.

INTERACCIÓN CON OTRAS ORGANIZACIONES INTERNACIONALES

En la elaboración de las normas de seguridad del OIEA se tienen en cuenta las conclusiones del Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR) y las recomendaciones de órganos internacionales de expertos, en particular la

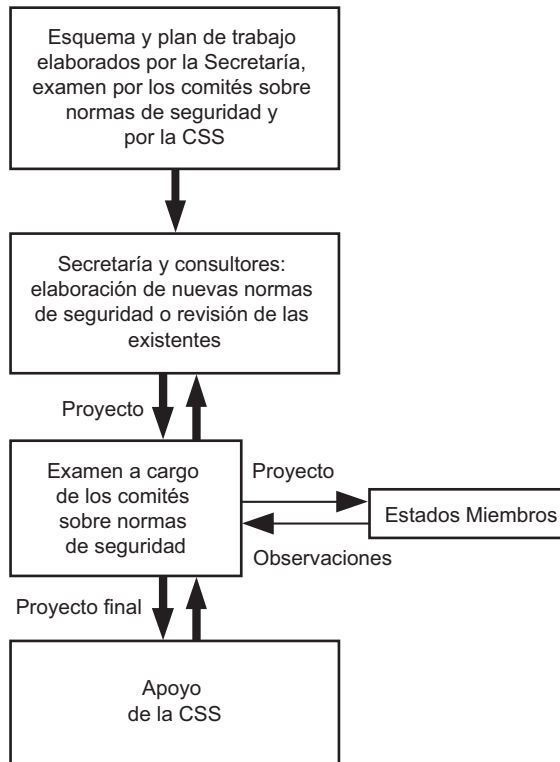


Fig. 2. Proceso de elaboración de una nueva norma de seguridad o de revisión de una norma existente.

Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP). Algunas normas de seguridad se elaboran en cooperación con otros órganos del sistema de las Naciones Unidas u otros organismos especializados, entre ellos la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, la Organización Internacional del Trabajo, la Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE, la Organización Panamericana de la Salud y la Organización Mundial de la Salud.

INTERPRETACIÓN DEL TEXTO

Los términos relacionados con la seguridad y con la seguridad física nuclear se interpretarán conforme figuran en el *Glosario de seguridad nuclear tecnológica y física del OIEA* (véase la dirección <https://www.iaea.org/resources/publications/iaea-nuclear-safety-and-security-glossary>). En el caso de las guías de seguridad, el texto en inglés es la versión autorizada.

En la Introducción que figura en la sección 1 de cada publicación se presentan los antecedentes y el contexto de cada norma de la *Colección de Normas de Seguridad del OIEA*, así como sus objetivos, alcance y estructura.

Todo el material para el cual no existe un lugar adecuado en el cuerpo del texto (por ejemplo, información de carácter complementario o independiente del texto principal, que se incluye en apoyo de declaraciones que figuran en el texto principal, o que describe métodos de cálculo, procedimientos o límites y condiciones) puede presentarse en apéndices o anexos.

Cuando figuran en la publicación, los apéndices se consideran parte integrante de la norma de seguridad. El material que figura en un apéndice tiene el mismo valor que el texto principal y el OIEA asume su autoría. Los anexos y notas de pie de página del texto principal, en su caso, se utilizan para proporcionar ejemplos prácticos o información o explicaciones adicionales. Los anexos y notas de pie de página no son parte integrante del texto principal. La información publicada por el OIEA en forma de anexos no es necesariamente de su autoría; la información que corresponda a otros autores podrá presentarse en forma de anexos. La información procedente de otras fuentes que se presenta en los anexos ha sido extraída y adaptada para que sea de utilidad general.

ÍNDICE

| | | |
|----|--|----|
| 1. | INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| | Antecedentes (1.1-1.6)..... | 1 |
| | Objetivo (1.7-1.9)..... | 3 |
| | Alcance (1.10-1.24)..... | 4 |
| | Estructura (1.25)..... | 9 |
| 2. | EXPLICACIÓN DE CONCEPTOS Y TÉRMINOS (2.1)..... | 10 |
| | Situaciones de exposición planificadas: exposiciones que se prevé que se produzcan en condiciones normales de funcionamiento y exposiciones potenciales (2.2)..... | 10 |
| | Proceso decisorio gubernamental (2.3, 2.4)..... | 10 |
| | Proceso de autorización (2.5, 2.6)..... | 11 |
| | Evaluación del impacto ambiental (2.7-2.9)..... | 11 |
| | Medio ambiente y protección del medio ambiente (2.10-2.12)..... | 12 |
| | Evaluación del impacto radiológico ambiental (2.13)..... | 13 |
| | Miembros del público (2.14)..... | 13 |
| 3. | REQUISITOS DE SEGURIDAD RELATIVOS A LA EVALUACIÓN PROSPECTIVA DEL IMPACTO RADIOLÓGICO AMBIENTAL (3.1)..... | 14 |
| | Limitación de dosis y restricción de dosis y riesgo (3.2-3.5)..... | 14 |
| | Evaluación para la protección del público y del medio ambiente (3.6-3.10)..... | 15 |
| | Evaluación y control de la exposición potencial (3.11-3.14)..... | 16 |
| | Enfoque graduado (3.15-3.18)..... | 17 |
| | Impactos transfronterizos (3.19)..... | 18 |
| 4. | MARCO PARA LA EVALUACIÓN PROSPECTIVA DEL IMPACTO RADIOLÓGICO AMBIENTAL DE INSTALACIONES Y ACTIVIDADES (4.1-4.3)..... | 19 |
| | Evaluación para el proceso de autorización (4.4-4.16)..... | 20 |
| | La evaluación como parte de un proceso decisorio gubernamental (4.17-4.21)..... | 25 |
| | Evaluaciones para otros fines (4.22)..... | 27 |
| | Comunicación de resultados (4.23-4.27)..... | 27 |

| | | |
|----|---|----|
| 5. | METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN PROSPECTIVA DEL IMPACTO RADIOLÓGICO AMBIENTAL. | 29 |
| | Consideraciones generales (5.1-5.6) | 29 |
| | Evaluación para la protección del público en condiciones normales de funcionamiento (5.7-5.42) | 31 |
| | Evaluación para la protección del público contra exposiciones potenciales (5.43-5.75) | 44 |
| | Consideraciones relativas a la evaluación de la protección del medio ambiente (5.76-5.81) | 55 |
| 6. | CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA VARIABILIDAD Y LA INCERTIDUMBRE EN LAS EVALUACIONES DEL IMPACTO RADIOLÓGICO AMBIENTAL (6.1-6.9) | 57 |
| | APÉNDICE: CRITERIOS DE RIESGO PARA LA EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN POTENCIAL DEL PÚBLICO | 61 |
| | REFERENCIAS | 65 |
| | ANEXO I: EJEMPLO DE METODOLOGÍA GENÉRICA PARA EVALUAR LAS EXPOSICIONES DE LA FLORA Y LA FAUNA DURANTE EL FUNCIONAMIENTO NORMAL DE INSTALACIONES Y ACTIVIDADES. | 71 |
| | ANEXO II CONSIDERACIÓN DEL RIESGO DE EFECTOS SOBRE LA SALUD Y LA EVALUACIÓN DE EXPOSICIONES POTENCIALES | 83 |
| | COLABORADORES EN LA REDACCIÓN Y LA REVISIÓN | 89 |

1. INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

1.1. En 2014, el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) publicó el documento N° GSR Part 3 de la *Colección de Normas de Seguridad del OIEA*, titulado *Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad* [1]. Dicho documento se basa en la publicación N° SF-1 de la *Colección de Normas de Seguridad del OIEA*, titulada *Principios fundamentales de seguridad* [2], y en las recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) [3]. El sistema de protección radiológica y seguridad establecido en la publicación GSR Part 3 [1] tiene por objeto evaluar, gestionar y controlar la exposición a la radiación a fin de reducir, en la medida en que sea razonablemente posible, los riesgos radiológicos, comprendidos los riesgos de efectos en la salud y los riesgos para el medio ambiente. La protección del público se basa en los principios de justificación, optimización y limitación de dosis, especificados por la ICRP [3] e incorporados en las normas de seguridad del OIEA (véanse las refs. [1 y 2]).

1.2. La publicación GSR Part 3 [1] establece el requisito de realizar una evaluación prospectiva de los impactos radiológicos ambientales debidos a las emisiones de radionucleidos procedentes de instalaciones y actividades¹. Esta guía de seguridad proporciona orientación sobre el cumplimiento de los requisitos establecidos en la publicación GSR Part 3 [1] para la realización de dichas evaluaciones con respecto a determinadas instalaciones y actividades si así lo exige el órgano regulador y, en particular, para cumplir el requisito establecido en el párrafo 3.9 e) de la publicación GSR Part 3 [1], que dice lo siguiente:

“Toda persona u organización que solicite una autorización [...] deberá disponer, de acuerdo con lo solicitado por el órgano regulador, la realización de una evaluación prospectiva adecuada en relación con los impactos radiológicos ambientales, acorde con los riesgos radiológicos asociados a la instalación o actividad”.

¹ El término “instalaciones y actividades” se define en la publicación SF-1 [2] y en el *Glosario de seguridad del OIEA* [4]. Se trata de un término general que abarca todas las instalaciones nucleares y los usos de todas las fuentes de radiación ionizante. Las recomendaciones de esta guía de seguridad se aplican a determinadas instalaciones y actividades, que se describen en los párrafos 1.10 a 1.24.

1.3. El objetivo de una evaluación prospectiva del impacto radiológico ambiental es determinar si la instalación o actividad prevista cumple los requisitos legislativos y reglamentarios vigentes sobre protección del público y del medio ambiente en todas las circunstancias razonablemente previsibles. Dicha evaluación prospectiva tiene en cuenta las exposiciones que se prevé que se produzcan en condiciones normales de funcionamiento y las exposiciones potenciales debidas a accidentes que se determinen y caractericen mediante un análisis de la seguridad. La evaluación del impacto radiológico ambiental debería ser lo más sencilla posible, pero tan compleja como sea necesario para lograr este objetivo.

1.4. En el marco de los instrumentos jurídicos internacionales o de las leyes y reglamentación nacionales, los Estados también pueden exigir que, para algunas instalaciones y actividades, se lleve a cabo un proceso decisorio gubernamental², que incluya una evaluación inicial exhaustiva de posibles efectos importantes en el medio ambiente, en una fase temprana del desarrollo de la instalación o actividad. En este caso, la evaluación del impacto radiológico ambiental suele formar parte de una evaluación del impacto más amplia, que se conoce como “evaluación del impacto ambiental” o por la sigla EIA. La evaluación del impacto ambiental evalúa de manera prospectiva los impactos biofísicos (incluidos los radiológicos) y también abarca los impactos sociales y económicos y otros impactos conexos de una actividad o instalación propuesta antes de que se tomen decisiones importantes. En este marco, los resultados de la evaluación del impacto radiológico ambiental, tal como se describe en la presente guía de seguridad, pueden servir para emitir opiniones fundamentadas sobre la aceptabilidad del riesgo desde la perspectiva de la protección radiológica.

1.5. Esta guía de seguridad está relacionada con otras publicaciones de la *Colección de Normas de Seguridad del OIEA*, a saber: la publicación N° GSR Part 4 (Rev. 1) de la *Colección de Normas de Seguridad del OIEA*, titulada *Evaluación de la seguridad de las instalaciones y actividades* [5]; la publicación N° GSR Part 7 de la *Colección de Normas de Seguridad del OIEA*, titulada *Preparación y respuesta para casos de emergencia nuclear o radiológica* [6]; la publicación N° GSG-8 de la *Colección de Normas de Seguridad del OIEA*, titulada *Protección radiológica del público y el medio ambiente* [7]; la publicación N° GSG-2 de la *Colección de Normas de Seguridad del OIEA*, titulada *Criterios aplicables a la preparación y respuesta a situaciones de emergencia nuclear o radiológica* [8], y la publicación N° GSG-9 de la *Colección de Normas de Seguridad del OIEA*, titulada *Control reglamentario de las descargas radiactivas*

² En el párrafo 2.3 se explica el término “proceso decisorio gubernamental”.

al medio ambiente [9]. Esta guía de seguridad debería utilizarse junto con estas otras normas de seguridad³.

1.6. La presente guía de seguridad proporciona un marco general que concuerda con y que puede aplicarse como complemento a la orientación proporcionada en otras guías de seguridad que establecen marcos para la evaluación de la seguridad de instalaciones y actividades e incluyen el concepto de evaluación del impacto radiológico ambiental (como parte de la evaluación de la seguridad), pero con menos detalle que en la presente publicación. Algunos ejemplos son la publicación N° GSG-3 de la *Colección de Normas de Seguridad del OIEA*, titulada *The Safety Case and Safety Assessment for the Predisposal Management of Radioactive Waste* [13], y la publicación N° WS-G-5.2 de la *Colección de Normas de Seguridad del OIEA*, titulada *Evaluación de la seguridad para la clausura de instalaciones que utilizan materiales radiactivos* [14].

OBJETIVO

1.7. Esta guía de seguridad ofrece recomendaciones y orientación sobre un marco general para realizar evaluaciones prospectivas del impacto radiológico de instalaciones y actividades, con el fin de estimar y controlar los efectos radiológicos en el público y en el medio ambiente. Esta evaluación del impacto radiológico se ha concebido para situaciones de exposición planificadas en el marco del proceso de autorización y, cuando proceda, en el marco de un proceso decisorio gubernamental (véase el párr. 2.3) con respecto a instalaciones y actividades. Las situaciones contempladas incluyen tanto las exposiciones que se prevé que se produzcan en condiciones normales de funcionamiento como las exposiciones potenciales (véase el párr. 2.2).

1.8. La presente guía de seguridad proporciona orientaciones y recomendaciones generales sobre el contenido de una evaluación prospectiva del impacto radiológico ambiental, su utilización y los procedimientos para llevarla a cabo, lo

³ El OIEA también ha publicado un informe de seguridad sobre métodos y modelos que pueden servir para evaluar el impacto de las emisiones de material radiactivo al medio ambiente [10] e informes técnicos relacionados con parámetros de transferencia ambiental [11 y 12]. Se está preparando una versión revisada de la publicación N° 19 de la *Colección de Informes de Seguridad* [10], que abarcará las evaluaciones de cribado de la exposición del público, la utilización de modelos y parámetros genéricos para evaluar el impacto de las descargas radiactivas, y modelos y parámetros genéricos para evaluar las exposiciones de la flora y la fauna como consecuencia de las descargas radiactivas procedentes de instalaciones y actividades.

cual puede servir de ayuda a los órganos reguladores nacionales, a las personas u organizaciones responsables de instalaciones y actividades y a otras partes interesadas⁴, incluidas, aunque no exclusivamente, las personas u organizaciones que soliciten una autorización para la explotación de instalaciones y la realización de actividades o que sean responsables de las mismas. En la presente publicación se reconoce que distintos Estados utilizan enfoques diferentes para aplicar algunos aspectos de la evaluación del impacto radiológico ambiental. Esto se debe a la complejidad y diversidad de las opciones relativas a la gestión de las cuestiones medioambientales, que depende de las características de las propias instalaciones y actividades, de las condiciones medioambientales específicas, y de la reglamentación y circunstancias nacionales.

1.9. Las figuras 1 a 3 (en las secciones 4 y 5) y I-1 y I-2 (en el anexo I) ilustran elementos de la evaluación prospectiva del impacto radiológico ambiental y facilitan su descripción lógica, pero no representan procedimientos detallados. En la presente guía de seguridad no se describen otros aspectos importantes que deberían tenerse en cuenta al realizar esas evaluaciones, como la selección de códigos informáticos, el análisis de incertidumbre, la verificación, la garantía de la calidad y el control de la calidad.

ALCANCE

1.10. Esta guía de seguridad se aplica a aquellas instalaciones y actividades para las que, en función de sus características y con arreglo a la reglamentación nacional o internacional aplicable, sea obligatorio realizar una evaluación del impacto radiológico ambiental. En la sección 4 se ofrece orientación sobre cómo determinar la necesidad de realizar una evaluación del impacto radiológico ambiental, y su complejidad.

1.11. Esta guía de seguridad proporciona orientación sobre cómo evaluar de modo prospectivo las exposiciones a la radiación y los riesgos radiológicos debidos a las emisiones radiactivas al medio ambiente procedentes de instalaciones

⁴ La publicación GSR Part 3 [1] utiliza el término “parte interesada” en sentido amplio para designar a toda persona o grupo que tenga algún tipo de interés en el funcionamiento de una organización. Entre las partes interesadas suelen figurar los clientes, propietarios, explotadores, empleados, proveedores, asociados y sindicatos; los profesionales o sectores regulados; los organismos científicos, y los organismos gubernamentales u órganos reguladores. El término también podría incluir a otros Estados (por ejemplo, Estados vecinos afectados por posibles impactos transfronterizos).

y actividades nuevas o existentes respecto a las cuales el público y el medio ambiente podrían estar expuestos a radiación⁵. Para determinadas instalaciones y actividades, se tienen en cuenta la exposición radiológica del público y el riesgo radiológico para este debidos a la irradiación externa directa. La presente guía de seguridad describe una evaluación del impacto radiológico ambiental utilizando datos y modelos genéricos; datos y modelos específicos del emplazamiento, y una combinación de ambos, según proceda.

1.12. Las exposiciones radiológicas contempladas incluyen las exposiciones que se prevé que se produzcan como resultado del funcionamiento normal (es decir, debidas a descargas autorizadas o a irradiación externa directa) y las exposiciones que podrían producirse pero que no es seguro que se produzcan, que se hayan determinado mediante un análisis de la seguridad⁶ de sucesos y accidentes⁷, con arreglo a lo dispuesto en la publicación GSR Part 3 [1] (es decir, exposiciones potenciales).

1.13. La presente guía de seguridad no proporciona orientación sobre evaluaciones prospectivas equivalentes de las exposiciones “diferidas” que puedan producirse en el período posterior al cierre de una instalación de disposición final de desechos [15], de las exposiciones derivadas del transporte de material radiactivo,

⁵ Las instalaciones y actividades que requieren una evaluación del impacto radiológico ambiental son aquellas en las que se produce, procesa, utiliza, manipula o almacena material radiactivo de tal forma y a tal escala que es necesario tener en cuenta el posible impacto en el público y el medio ambiente. Como ejemplos de este tipo de instalaciones cabe citar las instalaciones nucleares (incluidos las centrales nucleares, los reactores de investigación, las instalaciones de producción de radioisótopos, las instalaciones de producción de fuentes, las instalaciones de almacenamiento del combustible gastado, las instalaciones de reprocesamiento, las instalaciones de enriquecimiento de uranio, las instalaciones de fabricación de combustible nuclear, las instalaciones de gestión de los desechos radiactivos previa a la disposición final, las instalaciones de disposición final durante el período operacional, y las instalaciones de investigación y desarrollo relacionadas con el ciclo del combustible nuclear); algunas instalaciones de extracción y procesamiento de materias primas, como las minas de uranio a cielo abierto, y las instalaciones de tratamiento o procesamiento de minerales de uranio. Algunos ejemplos de actividades son el uso de fuentes de radiación no selladas con fines industriales, de investigación y médicos, y la clausura de determinadas instalaciones.

⁶ El “análisis de la seguridad” forma parte de la evaluación de la seguridad de las instalaciones y actividades [5].

⁷ El *Glosario de seguridad del OIEA* define un “accidente” como “todo *suceso* involuntario, incluidos errores de operación, *fallos* del equipo u otros contratiempos, cuyas consecuencias, reales o potenciales, no sean insignificantes desde el punto de vista de la *protección o de la seguridad*” (la cursiva indica un término con entrada en el *Glosario de seguridad*) [4].

o de las exposiciones derivadas del uso de fuentes radiactivas móviles. Se proporciona orientación específica sobre la evaluación de las exposiciones con respecto a la disposición final y al transporte en, respectivamente, la publicación N° SSG-23 de la *Colección de Normas de Seguridad del OIEA*, titulada *The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste* [16], y la publicación N° TS-G-1.3 de la *Colección de Normas de Seguridad del OIEA*, titulada *Programas de protección radiológica para el transporte de materiales radiactivos* [17].

1.14. La evaluación del impacto radiológico ambiental, tal como se describe en la presente guía de seguridad, se ha concebido para que tenga un carácter prospectivo. Por ejemplo, puede realizarse antes de la selección de un emplazamiento, como parte de la solicitud de una autorización durante la construcción y antes de la explotación, o antes de la clausura. La evaluación del impacto radiológico ambiental puede utilizarse con múltiples propósitos, entre ellos el establecimiento de la base inicial para la autorización con respecto a la protección del público y del medio ambiente, y contribuir de manera importante al proceso de autorización de descargas controladas. En la publicación GSG-9 [9] se trata el proceso de autorización de los límites de descarga para optimizar la protección de los trabajadores y del público y la seguridad.

1.15. También puede realizarse una evaluación del impacto radiológico ambiental en el caso de instalaciones existentes respecto a las cuales esté previsto introducir cambios en sus procesos operacionales, antes de la aplicación de todo cambio significativo que afecte al nivel de descargas o posibles emisiones al medio ambiente; si se considera necesario, también puede realizarse una evaluación de ese tipo en el marco de un examen periódico de la seguridad.

1.16. La evaluación del impacto radiológico ambiental descrita en esta guía de seguridad no tiene por objeto evaluar retrospectivamente el impacto radiológico de descargas que hayan tenido lugar durante la explotación o las consecuencias de un accidente real. No obstante, la evaluación prospectiva de las exposiciones potenciales podría proporcionar información preliminar que serviría para evaluar los peligros y las consecuencias conexas con el fin de establecer un nivel adecuado de preparación y respuesta para casos de emergencia [6].

1.17. En la evaluación prospectiva de las exposiciones potenciales relativas a instalaciones y actividades, tal como se describe en esta guía de seguridad, puede ser necesario que se tengan en cuenta accidentes con muy pocas probabilidades de producirse que den lugar a consecuencias radiológicas para el público y el medio ambiente, y que se cumplan los criterios relativos a las exposiciones

potenciales. Sin embargo, incluso si una instalación o una actividad cumple estos criterios, ello no excluye la necesidad de realizar una evaluación de los peligros en relación con la preparación y respuesta para casos de emergencia nuclear o radiológica, con arreglo a los requisitos de la publicación GSR Part 7 [6]. Quedan fuera del ámbito de aplicación de la presente guía de seguridad otros aspectos de las consecuencias derivadas de grandes emisiones accidentales al medio ambiente, como los efectos sociales y económicos y los efectos no radiológicos en el medio ambiente y en los ecosistemas.

1.18. Esta guía de seguridad no describe en detalle las especificaciones y características de los sucesos y accidentes que han de tenerse en cuenta en la evaluación de la exposición potencial del público, ni la metodología para su selección y análisis; dicha especificación y caracterización, que deberían determinarse mediante un análisis sistemático, deberían realizarse en el marco de una evaluación de la seguridad de una instalación o actividad, tal como se describe en la publicación GSR Part 4 (Rev. 1) [5].

1.19. La presente guía de seguridad define un marco general y describe los aspectos generales de la metodología para realizar una evaluación prospectiva del impacto radiológico ambiental; la presente publicación no describe en detalle los modelos que han de utilizarse ni la recogida y utilización de datos de los programas de monitorización radiológica del medio ambiente, lo cual normalmente se lleva a cabo en la etapa preoperacional y en la etapa operacional⁸ de una instalación o actividad. A efectos de la presente guía de seguridad, se supone que la monitorización del medio ambiente y de una fuente se lleva a cabo según proceda en la etapa preoperacional y en la etapa operacional y que esta proporciona la información necesaria para calcular estimaciones de dosis adecuadas y para verificar que los modelos y supuestos utilizados en la evaluación prospectiva sean apropiados. La evaluación prospectiva descrita en la presente guía de seguridad también puede servir para respaldar el establecimiento o la mejora de un programa de monitorización ambiental específico de un emplazamiento. En la publicación N° RS-G-1.8 de la *Colección de Normas de Seguridad del OIEA*, titulada *Monitorización del medio ambiente y de las fuentes*

⁸ Se definen programas de monitorización en la etapa preoperacional, por ejemplo, para establecer concentraciones de la actividad “de referencia” en los medios naturales y para proporcionar información y datos con el fin de evaluar la dosis [18]. Durante la explotación de la instalación o el desarrollo de la actividad, se establecen programas de monitorización para verificar el cumplimiento de los límites de descarga, comprobar las condiciones de explotación, alertar de condiciones inusuales o imprevistas y comprobar las predicciones de los modelos ambientales [18].

de radiación con fines de protección radiológica [18], se brinda orientación relativa a los programas de monitorización del medio ambiente y de las fuentes, y en la referencia [19] se ofrece más información al respecto. La necesidad de disponer de programas de monitorización ambiental para la demostración del cumplimiento de los límites de descarga autorizados, y las características generales de dichos programas, se abordan en la publicación GSG-9 [9].

1.20. La presente guía de seguridad no cubre las exposiciones ocupacionales ni las exposiciones médicas. Las recomendaciones relativas a esas categorías de exposición y su inclusión en el proceso de autorización figuran en la publicación N° GSG-7 de la *Colección de Normas de Seguridad del OIEA*, titulada *Protección radiológica ocupacional* [20], y la publicación N° SSG-46 de la *Colección de Normas de Seguridad del OIEA*, titulada *Protección y seguridad radiológicas en los usos médicos de la radiación ionizante* [21].

1.21. Esta guía de seguridad abarca principalmente la evaluación del riesgo de los impactos radiológicos para la salud de los miembros del público como consecuencia de la exposición radiológica en condiciones normales de funcionamiento y de la exposición potencial, tal como se exige en la publicación GSR Part 3 [1]. En muchos casos, puede concluirse, sobre la base de pruebas como la experiencia o el análisis simplificado, que no es necesario tener en cuenta de manera específica los efectos en el medio ambiente. Esto puede no ser así en todas las situaciones, y el órgano regulador puede exigir que se tenga en cuenta de forma explícita la protección del medio ambiente. En otros casos, la legislación nacional recoge la necesidad de tener en cuenta de forma explícita la protección del medio ambiente. En el anexo I se presenta, a modo de ejemplo, una metodología para la evaluación explícita de los impactos de las radiaciones sobre la flora y la fauna, que puede utilizarse con arreglo a los marcos reglamentarios nacionales o internacionales para la protección del medio ambiente.

1.22. La presente guía de seguridad no aborda el proceso de “iteración y optimización del diseño”, que normalmente se lleva a cabo en el marco de una evaluación de la seguridad para la gestión previa a la disposición final de desechos radiactivos [13]; sin embargo, la evaluación del impacto radiológico ambiental que se describe en la presente publicación puede contribuir a ese proceso.

1.23. La publicación GSR Part 3 [1] exige la optimización de la protección y la seguridad; el proceso de optimización incluye no solo tener en cuenta la protección del público, sino también tener en cuenta la protección de los trabajadores y todas las características de seguridad de la instalación o actividad,

como las relacionadas con la gestión *in situ* de los desechos radiactivos. Esta guía de seguridad abarca la evaluación de la exposición del público solamente. Los aspectos más amplios de la optimización de la protección y la seguridad se tratan en otras publicaciones de la *Colección de Normas de Seguridad del OIEA*, por ejemplo, en la publicación GSG-3 [13], relativa a la gestión previa a la disposición final de desechos radiactivos. La optimización de la protección del público en relación con el establecimiento de límites de descarga radiactiva para instalaciones y actividades se describe en la publicación GSG-9 [9]. El resultado de una evaluación del impacto radiológico ambiental, tal como se describe en la presente guía de seguridad, es una aportación necesaria al proceso de optimización que servirá para establecer los límites de descarga.

1.24. Los posibles impactos no radiológicos de instalaciones y actividades, que generalmente se incluyen en una evaluación del impacto ambiental en el marco de un proceso decisorio gubernamental, como los impactos en las personas y el medio ambiente derivados de las emisiones de otras sustancias peligrosas (es decir, productos químicos y agua caliente), los impactos derivados de la construcción de una instalación, los impactos en lugares de importancia social (es decir, monumentos históricos y lugares culturales), los impactos en las especies en peligro y los impactos en el paisaje, así como otros factores sociales y económicos, no se tienen en cuenta en la presente guía de seguridad, pero deberían ser tenidos en cuenta por los Estados de conformidad con la reglamentación nacional e internacional aplicable en el momento de tomar las decisiones pertinentes.

ESTRUCTURA

1.25. En la sección 2 se explican los principales conceptos y términos utilizados en la guía de seguridad. La sección 3 presenta los requisitos de seguridad para el Gobierno, el órgano regulador y los licenciarios en relación con la evaluación prospectiva del impacto radiológico ambiental. La sección 4 describe el marco en que se realizan dichas evaluaciones. La sección 5 describe la metodología necesaria para llevar a cabo una evaluación prospectiva del impacto radiológico ambiental para la protección del público en condiciones normales de funcionamiento y en caso de exposiciones potenciales, y aborda la protección del medio ambiente. La sección 6 presenta consideraciones relativas a la variabilidad y la incertidumbre en las evaluaciones del impacto radiológico ambiental. El apéndice presenta los criterios de riesgo establecidos por las organizaciones internacionales competentes, que podrían servir de base para definir los criterios nacionales con respecto al examen de las exposiciones potenciales. El anexo I

presenta un ejemplo de metodología para evaluar y controlar las exposiciones de la flora y la fauna. El anexo II presenta consideraciones relativas al riesgo de efectos sobre la salud y a la evaluación de la exposición potencial del público.

2. EXPLICACIÓN DE CONCEPTOS Y TÉRMINOS

2.1. En esta sección se explican algunos de los conceptos y términos utilizados en la presente guía de seguridad. Salvo que se indique de otro modo, los conceptos o términos han de entenderse tal como se definen en la publicación GSR Part 3 [1] o en el *Glosario de seguridad del OIEA* [4].

SITUACIONES DE EXPOSICIÓN PLANIFICADAS: EXPOSICIONES QUE SE PREVÉ QUE SE PRODUZCAN EN CONDICIONES NORMALES DE FUNCIONAMIENTO Y EXPOSICIONES POTENCIALES

2.2. El párrafo 1.20 a) de la publicación GSR Part 3 [1] define una “situación de exposición planificada” del siguiente modo:

“situación de exposición que surge a raíz de la utilización planificada de una fuente o de una actividad planificada que tiene como resultado una exposición debida a una fuente [...] En las situaciones de exposición planificadas cabe prever que haya cierto grado de exposición. Cuando no existe la certeza de que la exposición se vaya a producir, sino que esta podría ser resultado de un accidente o deberse a un suceso o una serie de sucesos que podrían darse pero no es seguro que así sea, esto se denomina ‘exposición potencial’”.

La magnitud y el alcance de estas exposiciones normalmente pueden predecirse. Las exposiciones que se prevé que se produzcan y las exposiciones potenciales pueden y deberían tenerse en cuenta en la etapa de planificación o diseño [7].

PROCESO DECISORIO GUBERNAMENTAL

2.3. En el contexto de esta guía de seguridad, el término “proceso decisorio gubernamental” se refiere a los procedimientos llevados a cabo en todas las etapas

de planificación, preoperacionales, operacionales y de clausura por el Gobierno o los organismos gubernamentales, incluido el órgano regulador, para decidir si se emprende, continúa, modifica o detiene un proyecto relativo a una instalación o a una actividad. El término también podría aplicarse a ámbitos de política nacional, como la decisión de emprender un programa de energía nucleoelectrónica [22].

2.4. Normalmente, se lleva a cabo un proceso decisorio gubernamental⁹ en las primeras etapas de un programa de desarrollo y, principalmente, con respecto a las instalaciones y actividades para las que se prevé que sea necesario realizar una evaluación exhaustiva de su posible impacto en el medio ambiente. En el caso de algunos establecimientos e instalaciones nucleares, este proceso decisorio se describe en la reglamentación nacional o internacional con el término “evaluación del impacto ambiental” (véanse los párrs. 2.7 a 2.9).

PROCESO DE AUTORIZACIÓN

2.5. En la publicación GSR Part 3 [1], la “autorización” se define como la “concesión, por parte de un órgano regulador u otro órgano gubernamental, de un permiso por escrito para que una persona o entidad (el explotador) realice actividades especificadas”.

2.6. La autorización para una instalación o una actividad, en forma de inscripción en registro o licencia [1], podría concederse para el diseño, la selección del emplazamiento, la construcción y la explotación de la instalación o la actividad; para las actividades de clausura, o para las modificaciones de las condiciones de explotación de la instalación o el desempeño de la actividad.

EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

2.7. El término “evaluación del impacto ambiental” (o equivalente) figura en muchos instrumentos internacionales y leyes y reglamentos nacionales [23 a 30]. En el contexto de la presente guía de seguridad, por “evaluación del impacto ambiental” se entiende un procedimiento en el marco de un proceso decisorio gubernamental para determinar, describir y evaluar de manera prospectiva

⁹ El término “proceso decisorio gubernamental” engloba distintos términos utilizados en algunos Estados con significados parecidos o equivalentes, o está relacionado con ellos, como “decisión de principio”, “declaración de impacto ambiental” y, en algunos casos, “justificación”.

los efectos y el riesgo de efectos de una determinada actividad o instalación propuesta sobre aspectos de importancia medioambiental¹⁰.

2.8. Los efectos relacionados con las emisiones radiactivas procedentes de instalaciones y actividades al medio ambiente que probablemente se consideren en una evaluación del impacto ambiental incluyen generalmente los efectos radiológicos sobre la salud humana y, cuando así lo exijan los Estados, los efectos radiológicos sobre la flora y la fauna. Los impactos no radiológicos incluidos en una evaluación del impacto ambiental no se tienen en cuenta en la presente guía de seguridad, pero están sujetos a la reglamentación nacional e internacional aplicable.

2.9. En general, una evaluación del impacto ambiental requiere la participación del solicitante de la instalación o actividad propuesta, los organismos gubernamentales competentes, el órgano regulador y diversas partes interesadas, incluido, en algunos Estados, el público [22 a 30].

MEDIO AMBIENTE Y PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

2.10. La publicación GSR Part 3 [1] define el medio ambiente como las “condiciones en que las personas, los animales y las plantas viven o se desarrollan y que preservan la vida y el desarrollo; especialmente esas condiciones en la medida que se vean afectadas por las actividades humanas”. Por lo general, el medio ambiente incluye ecosistemas que abarcan componentes bióticos y abióticos.

2.11. En la definición de medio ambiente, la publicación GSR Part 3 [1] indica además lo siguiente:

“La protección del medio ambiente incluye la protección y conservación de: especies no humanas, tanto animales como vegetales, y su biodiversidad; bienes y servicios ambientales como la producción de alimentos y piensos; recursos utilizados en la agricultura, la silvicultura, la pesca y el turismo; servicios utilizados en actividades espirituales, culturales y recreativas; medios como el suelo, el agua y el aire; y procesos naturales como los ciclos del carbono, el nitrógeno y el agua”.

¹⁰ La referencia [31] proporciona información sobre las evaluaciones del impacto ambiental en el marco del desarrollo de un nuevo programa de energía nucleoelectrica.

2.12. Además, el párrafo 1.35 de la publicación GSR Part 3 [1] dice lo siguiente:

“la protección del medio ambiente [se considera una] cuestión que debe ser evaluada, permitiendo al mismo tiempo flexibilidad para incorporar en los procesos de toma de decisiones los resultados de las evaluaciones ambientales que sean commensuradas a los riesgos radiológicos”.

EVALUACIÓN DEL IMPACTO RADIOLÓGICO AMBIENTAL

2.13. A efectos de la presente guía de seguridad, una evaluación del impacto radiológico ambiental es una evaluación prospectiva de los impactos radiológicos previstos y analíticamente concebibles, que se cuantifica en términos de dosis efectiva para los miembros del público y que se realiza en el marco del proceso de autorización. Los resultados de una evaluación del impacto radiológico ambiental se comparan con los criterios radiológicos predefinidos que figuran en la publicación GSR Part 3 [1]. La evaluación del impacto radiológico ambiental puede considerarse un componente de una evaluación del impacto ambiental (que se describe en los párrs. 2.7 a 2.9) en el contexto de la planificación de una instalación o actividad concreta.

MIEMBROS DEL PÚBLICO

2.14. Según la publicación GSR Part 3 [1], por miembro del público se entiende “en sentido general, cualquier persona del público, excepto las personas sometidas a exposición ocupacional o exposición médica”. El párrafo 3.27 de la publicación SF-1 (Principio 7: Protección de las generaciones presentes y futuras) [2] dispone que “las medidas de seguridad se aplican no solo a las poblaciones locales, sino también a las que están lejos de las instalaciones y actividades” y que “cuando los efectos puedan abarcar más de una generación, las generaciones siguientes deben quedar adecuadamente protegidas sin que tengan que adoptar ninguna medida de protección importante”.

3. REQUISITOS DE SEGURIDAD RELATIVOS A LA EVALUACIÓN PROSPECTIVA DEL IMPACTO RADIOLÓGICO AMBIENTAL

3.1. La presente sección contiene extractos de las publicaciones SF-1 [2], GSR Part 3 [1] y GSR Part 4 (Rev. 1) [5] en que se establecen los requisitos de seguridad pertinentes para la protección del público y del medio ambiente que es necesario tener en cuenta al realizar evaluaciones radiológicas ambientales prospectivas para situaciones de exposición planificadas. En las secciones 4 y 5 y en el apéndice de la presente guía de seguridad se ofrecen recomendaciones sobre cómo cumplir estos requisitos.

LIMITACIÓN DE DOSIS Y RESTRICCIÓN DE DOSIS Y RIESGO

3.2. La publicación SF-1 [2] establece los principios para garantizar la protección del público y del medio ambiente, ahora y en el futuro, frente a los efectos nocivos de la radiación ionizante y, en el párrafo 3.25 (Principio 6: Limitación de los riesgos para las personas), dispone que “las dosis y los riesgos asociados a las radiaciones deben mantenerse dentro de límites especificados”. Estos principios se aplican a las situaciones que entrañan una exposición, o la posibilidad de una exposición, a la radiación ionizante¹¹.

3.3. La publicación GSR Part 3 [1] dispone que, en las situaciones de exposición planificadas, es necesario someter a control las exposiciones de los miembros del público y los riesgos para estos (párrs. 2.11, 3.26, 3.27, 3.120 c) y 3.123 b)).

3.4. En el requisito 12 de la publicación GSR Part 3 [1] se dispone que **“el gobierno o el órgano regulador establecerá los límites de dosis para [...] la exposición del público, y los titulares registrados y los titulares de licencias aplicarán esos límites”**.

3.5. En el párrafo 3.120 de la publicación GSR Part 3 [1], relativo a las responsabilidades específicas con respecto a la exposición del público, se dispone que “el gobierno o el órgano regulador establecerá o aprobará restricciones de dosis y restricciones de riesgos que deberán utilizarse en la optimización de la

¹¹ El principio de limitación de dosis y riesgos no se aplica a las situaciones de exposición de emergencia ni a las situaciones de exposición existente, para las que se utilizan en su lugar niveles de referencia.

protección y la seguridad para los miembros del público”. El párrafo 3.123 e) de la publicación GSR Part 3 [1] dice lo siguiente:

“El órgano regulador establecerá o aprobará los límites y condiciones operacionales en relación con la exposición del público, incluidos los límites autorizados para las descargas. Estos límites y condiciones operacionales: [...] tendrán en cuenta los resultados de la evaluación prospectiva de los impactos ambientales radiológicos que se realice de acuerdo con los requisitos del órgano regulador”.

EVALUACIÓN PARA LA PROTECCIÓN DEL PÚBLICO Y DEL MEDIO AMBIENTE

3.6. El principio 7 de la publicación SF-1 [2] dispone que **“deben protegerse contra los riesgos asociados a las radiaciones las personas y el medio ambiente del presente y del futuro”**.

3.7. El párrafo 3.28 de la publicación SF-1 [2] dice lo siguiente:

“El sistema actual de protección radiológica proporciona en general una protección adecuada de los ecosistemas del entorno humano contra los efectos nocivos de la exposición a las radiaciones. Las medidas que se han adoptado para proteger el medio ambiente han tenido por finalidad, en general, proteger los ecosistemas contra la exposición a radiaciones que pudieran tener consecuencias adversas para las poblaciones de una especie (no para los organismos individualmente)”.

3.8. El párrafo 3.9 e) de la publicación GSR Part 3 [1] dice lo siguiente:

“Toda persona u organización que solicite una autorización: [...] deberá disponer, de acuerdo con lo solicitado por el órgano regulador, la realización de una evaluación prospectiva adecuada en relación con los impactos radiológicos ambientales, acorde con los riesgos radiológicos asociados a la instalación o actividad”.

La sección 4 de esta guía de seguridad ofrece orientación sobre el contexto en el que se realiza una evaluación, y la sección 5 describe la metodología para evaluar el nivel de protección del público y del medio ambiente.

3.9. El párrafo 3.15 d) de la publicación GSR Part 3 [1] establece las responsabilidades de los titulares registrados y los titulares de licencias en las situaciones de exposición planificadas. En dicho párrafo se afirma lo siguiente:

“Los titulares registrados y los titulares de las licencias: [...] en relación con las fuentes para las que estén autorizados y para las que el órgano regulador exija la realización de una evaluación prospectiva de los impactos radiológicos ambientales [...] realizarán dicha evaluación y la mantendrán actualizada”.

3.10. El requisito 31 de la publicación GSR Part 3 [1] se refiere a los desechos radiactivos y descargas. El párrafo 3.132 de dicha publicación dice lo siguiente:

“Los titulares registrados y los titulares de licencias, en cooperación con los suministradores, al solicitar una autorización de descarga, según proceda:

- a) determinarán las características y la actividad de los materiales que vayan a descargarse, así como los posibles puntos y métodos de descarga;
- b) determinarán, por medio de un estudio preoperacional adecuado, todas las vías de exposición significativas por las que los radionucleidos descargados podrían causar la exposición de los miembros del público;
- c) evaluarán las dosis a la persona representativa a causa de las descargas planificadas;
- d) considerarán los impactos radiológicos ambientales de forma integrada junto con características del sistema de protección y seguridad, de acuerdo con lo requerido por el órgano regulador”.

EVALUACIÓN Y CONTROL DE LA EXPOSICIÓN POTENCIAL

3.11. El párrafo 3.15 e) de la publicación GSR Part 3 [1] dispone que “los titulares registrados y los titulares de las licencias: [...] evaluarán las probabilidades y la magnitud de las exposiciones potenciales, sus consecuencias probables y el número de personas que pueden verse afectadas por ellas”.

3.12. El párrafo 3.24 de la publicación GSR Part 3 [1] dice lo siguiente:

“los titulares registrados y los titulares de licencias asegurarán que se tengan en cuenta todos los factores pertinentes de forma coherente en la

optimización de la protección y la seguridad a fin de contribuir al logro de los siguientes objetivos:

- a) determinar las medidas de protección y seguridad que están optimizadas en relación con las circunstancias imperantes, habida cuenta de las opciones disponibles para la protección y la seguridad así como la naturaleza, probabilidad y magnitud de las exposiciones;
- b) establecer criterios, sobre la base de los resultados de la optimización, para limitar las probabilidades y magnitud de las exposiciones por conducto de medidas destinadas a prevenir accidentes y mitigar las consecuencias de los que se produzcan”.

3.13. El requisito 6 de la publicación GSR Part 4 (Rev. 1) [5] dispone que **“se determinarán y evaluarán los posibles riesgos radiológicos asociados a la instalación o la actividad”**. El párrafo 4.19 de la publicación GSR Part 4 (Rev. 1) [5] dispone que estos riesgos radiológicos incluyen lo siguiente:

“el grado y las probabilidades de exposición radiológica de [...] el público, y la posible emisión de material radiactivo en el medio ambiente, asociados a los incidentes operacionales previstos o con los accidentes que dan lugar a la pérdida de control del núcleo del reactor nuclear, la reacción nuclear en cadena, la fuente radiactiva o cualquier otra fuente de radiación”.

3.14. El párrafo 3.31 de la publicación GSR Part 3 [1] dice lo siguiente:

“Las evaluaciones de la seguridad se realizarán [...] de manera que:

- a) se identifiquen formas en que se pueden recibir exposiciones [...];
- b) se determinen las probabilidades y magnitudes previstas de las exposiciones durante el funcionamiento normal y, en la medida en que sea razonable y factible, se realice una evaluación de las exposiciones potenciales”.

ENFOQUE GRADUADO

3.15. El párrafo 3.24 de la publicación SF-1 [2] dispone que “los recursos que el titular de la licencia dedique a la seguridad, y el alcance y rigor de los reglamentos y de su aplicación, deben ser proporcionados a la magnitud de los riesgos asociados a las radiaciones y a la posibilidad de controlarlos”.

3.16. El párrafo 3.1 de la publicación GSR Part 4 (Rev. 1) [5] dispone que para aplicar el principio 5 (optimización de la protección) de la publicación SF-1 [2] “se adoptará un enfoque graduado en la realización de las evaluaciones de la seguridad de la amplia gama de instalaciones y actividades [...], en vista de los niveles muy diferentes de posibles riesgos radiológicos asociados a ellas”.

3.17. El requisito 6 de la publicación GSR Part 3 [1] dispone que **“la aplicación de los requisitos de las presentes Normas en las situaciones de exposición planificadas será proporcional a las características de la práctica o la fuente adscrita a la práctica, y a la probabilidad y la magnitud de las exposiciones”**.

3.18. El párrafo 3.4 de la publicación GSR Part 4 (Rev. 1) [5] dispone que “en el enfoque graduado de la evaluación de la seguridad también se tendrán en cuenta otros factores pertinentes, tales como el grado de sofisticación o complejidad de la instalación o actividad”. El párrafo 3.6 de la publicación GSR Part 4 (Rev. 1) [5] también dispone lo siguiente:

“La aplicación del enfoque graduado se volverá a evaluar a medida que avance la evaluación de la seguridad y se conozcan mejor los riesgos radiológicos derivados de la instalación o la actividad. El alcance y grado de detalle de la evaluación de la seguridad se modifican ulteriormente en la medida necesaria y la cuantía de recursos requerida se ajusta en consecuencia”.

IMPACTOS TRANSFRONTERIZOS

3.19. El párrafo 3.124 de la publicación GSR Part 3 [1] aborda la cuestión de la exposición fuera del territorio del Estado en que se encuentra la fuente¹². Dicho párrafo dispone lo siguiente:

“Cuando una fuente adscrita a una práctica pudiera causar exposición del público fuera del territorio u otra zona bajo la jurisdicción o el control del Estado en que se encuentre la fuente, el gobierno o el órgano regulador:

¹² El examen de la protección del público y del medio ambiente frente a posibles impactos transfronterizos y de las obligaciones de evaluar los impactos y compartir información entre Estados también ha de abordarse en el contexto más amplio de los acuerdos, convenciones y convenios internacionales pertinentes (por ejemplo, el Convenio de Espoo de 1991 [23], la Convención sobre el Derecho del Mar de 1982 [24], la Convención de Aarhus de 1998 [25] y el artículo 37 del Tratado Euratom [32]).

- a) velará por que la evaluación de las repercusiones radiológicas incluya las que se produzcan fuera del territorio u otra zona bajo la jurisdicción o el control del Estado;

[...]

- c) adoptará disposiciones con el Estado afectado sobre los medios para el intercambio de información y la realización de consultas, según convenga”.

4. MARCO PARA LA EVALUACIÓN PROSPECTIVA DEL IMPACTO RADIOLÓGICO AMBIENTAL DE INSTALACIONES Y ACTIVIDADES

4.1. El Gobierno o el órgano regulador deberían especificar de antemano los tipos de instalaciones y actividades para los que se requiera una evaluación del impacto radiológico ambiental o deberían especificar criterios para decidir, caso por caso, si es necesaria una evaluación de ese tipo. En general, no debería exigirse una evaluación de ese tipo para los generadores de rayos X, los pequeños laboratorios, la radiología diagnóstica, las aplicaciones industriales que utilizan fuentes selladas, o cualquier otra instalación o actividad en que se utilicen, procesen o almacenen fuentes o generadores de radiación de una forma y a una escala en que no se prevean impactos en el público y el medio ambiente en condiciones normales de funcionamiento o en caso de accidente.

4.2. El nivel de complejidad necesario de la evaluación del impacto radiológico ambiental también debería ser definido por el Gobierno o el órgano regulador en el marco jurídico o reglamentación nacionales. Deberían tenerse en cuenta las características de la actividad o instalación, sobre la base del riesgo para el público y el medio ambiente debido a las exposiciones previstas en condiciones normales de funcionamiento y a las exposiciones potenciales. Las instalaciones y actividades que queden exentas¹³ sin más consideraciones no deberían requerir una evaluación del impacto radiológico ambiental para su autorización, aunque pueda haberse realizado una evaluación genérica del impacto sobre el público y el medio ambiente para apoyar la conclusión de la exención. Cuando se conceda

¹³ El concepto de exención y los criterios generales de exención de prácticas se establecen en el apéndice I de la publicación GSR Part 3 [1].

una exención sujeta a condiciones, debería considerarse la necesidad de realizar una evaluación del impacto radiológico ambiental.

4.3. Los métodos utilizados para realizar una evaluación del impacto radiológico ambiental (por ejemplo, los supuestos, los modelos conceptuales, los modelos matemáticos, los datos de entrada) pueden diferir en función de la complejidad de la instalación o actividad y de los escenarios de exposición conexos, y deberían seleccionarse teniendo en cuenta los requisitos de un enfoque graduado. En general, suele ser más práctico comenzar con una evaluación conservadora simple —por ejemplo, utilizando datos de entrada genéricos y suponiendo un escenario de exposición prudente según el cual el público y el medio ambiente están expuestos a radiaciones ionizantes— y luego aumentar la complejidad de la evaluación según convenga —por ejemplo, utilizando datos específicos del emplazamiento y escenarios de exposición más detallados y realistas— hasta llegar a una conclusión clara y defendible. En aras de la claridad, las evaluaciones descritas en la presente guía de seguridad se clasifican a veces como simples o complejas. No obstante, estos términos pretenden expresar los dos extremos de una gama de evaluaciones posibles y, para un gran número de actividades e instalaciones, corresponderá realizar una evaluación que se sitúe en algún punto intermedio.

EVALUACIÓN PARA EL PROCESO DE AUTORIZACIÓN

4.4. Entre los factores que son importantes para determinar la necesidad y complejidad de la evaluación del impacto radiológico ambiental en el marco de un proceso de autorización figuran los siguientes: el término fuente¹⁴, las dosis previstas, las características de la actividad o instalación, las características del lugar, la reglamentación nacional de concesión de licencias para la instalación o actividad concreta, y la etapa del proceso de autorización (véase el cuadro 1). El solicitante debería tener en cuenta esos factores cuando presente una solicitud al órgano regulador para que la examine y apruebe. Para determinadas instalaciones y actividades, el órgano regulador puede definir *a priori* el grado de detalle de la evaluación.

¹⁴ El “término fuente” es “la cantidad y composición isotópica del *material radiactivo* emitido (o que se presupone que se emitirá) desde una *instalación*” [4]. El concepto se utiliza para modelizar las emisiones de radionucleidos al medio ambiente. También es aplicable a determinadas actividades y, junto con las propiedades físicas y químicas del material emitido, puede ser pertinente para modelizar la dispersión ambiental.

CUADRO 1. EJEMPLOS DE FACTORES QUE AFECTAN AL NIVEL DE COMPLEJIDAD NECESARIO PARA UNA EVALUACIÓN PROSPECTIVA DEL IMPACTO RADIOLÓGICO AMBIENTAL^a

| Factor | Elemento |
|--|--|
| Características de la instalación o actividad | <p>Término fuente</p> <ul style="list-style-type: none"> — Radionucleidos — Magnitud (tanto actividad como masa/volumen) — Forma (composición química/física) — Geometría (tamaño, forma, altura de emisión) — Potencial de emisión: el término fuente difiere de manera considerable en condiciones normales de funcionamiento y en caso de accidente <p>Dosis previstas en condiciones normales de funcionamiento o dosis proyectadas de exposiciones potenciales</p> <ul style="list-style-type: none"> — Evaluaciones preliminares o evaluaciones anteriores de instalaciones similares <p>Características de seguridad de la actividad o instalación</p> <ul style="list-style-type: none"> — Tipos de barreras de seguridad y elementos técnicos presentes en el diseño — Posibilidad de que se produzcan accidentes severos |
| Características del lugar | <p>Características del emplazamiento de la instalación relacionadas con la dispersión de radionucleidos en el medio ambiente (p. ej., geología, hidrología, meteorología, morfología, características biofísicas)</p> <p>Presencia y características de los receptores (p. ej., demografía, hábitos y condiciones de vida, flora y fauna)</p> <p>Vías de exposición</p> <p>Uso del suelo y otras actividades (p. ej., agricultura, procesamiento de alimentos, otras industrias)</p> <p>Características de otras instalaciones cercanas y posibles sucesos externos naturales o provocados por el ser humano (p. ej., terremotos, inundaciones, accidentes industriales, accidentes de transporte)</p> |
| Características del proceso de autorización para la actividad o instalación concreta | <p>Requisitos o reglamentos (requisitos para la concesión de licencias)</p> <p>Etapas del proceso de autorización</p> |

^a La lista que aquí se ofrece no es exhaustiva, y corresponderá a los expertos en seguridad nuclear y radiológica de la organización del solicitante y al órgano regulador nacional determinar la importancia de estos factores al seleccionar el tipo de evaluación.

4.5. Los factores y elementos que figuran en el cuadro 1 deberían servir como orientación general para determinar si convendría realizar una evaluación del impacto radiológico ambiental simple o compleja. En general, una evaluación en apoyo de la autorización de una instalación nuclear requerirá un alto grado de complejidad, mientras que para una actividad o instalación que funcione con un pequeño inventario de radionucleidos puede estar justificado un análisis más sencillo.

4.6. En el caso de instalaciones o actividades con prácticas relativamente normalizadas, pequeños inventarios de radionucleidos y escaso potencial de emisiones accidentales al medio ambiente, pero que aun así podrían ocasionar algún impacto en el público y el medio ambiente —por ejemplo, un hospital con un departamento de medicina nuclear—, el órgano regulador puede proporcionar orientaciones genéricas que determinen los elementos necesarios que deberían incluirse en la evaluación del impacto radiológico ambiental.

4.7. En el caso de las instalaciones nucleares, por ejemplo, las centrales nucleares y las instalaciones de reprocesamiento de combustible nuclear, es probable que haya varias etapas en el proceso de autorización [33]. Durante estas etapas, la evaluación del impacto radiológico ambiental podrá actualizarse a medida que se obtengan datos más específicos; el solicitante o la entidad explotadora de la instalación deberían asegurarse de que las actualizaciones de los resultados de dicha evaluación se presenten en cada etapa, para que el órgano regulador las examine.

4.8. La figura 1 se ha adaptado y modificado a partir de la figura 1 de la publicación N° SSG-12 de la *Colección de Normas de Seguridad del OIEA*, titulada *Proceso de concesión de licencias para establecimientos nucleares* [33], y presenta de forma esquemática las etapas de la vida de un establecimiento nuclear. Las evaluaciones del impacto radiológico ambiental realizadas antes de y durante la explotación de un establecimiento nuclear serán todas muy parecidas, aunque incorporarán cada vez más detalles y datos específicos para reducir el nivel de incertidumbre, cuando sea posible, y un examen de los modelos y supuestos utilizados, cuando se considere necesario. Las flechas verticales continuas de la figura 1 indican los puntos en que la evaluación del impacto radiológico ambiental puede presentarse al órgano regulador para que la examine y, finalmente, someterse a aprobación, antes del inicio de la explotación de la instalación o del comienzo de su clausura. Las flechas verticales discontinuas indican cuándo puede presentarse una evaluación actualizada al órgano regulador si se producen cambios significativos en el nivel postulado de emisiones o en los

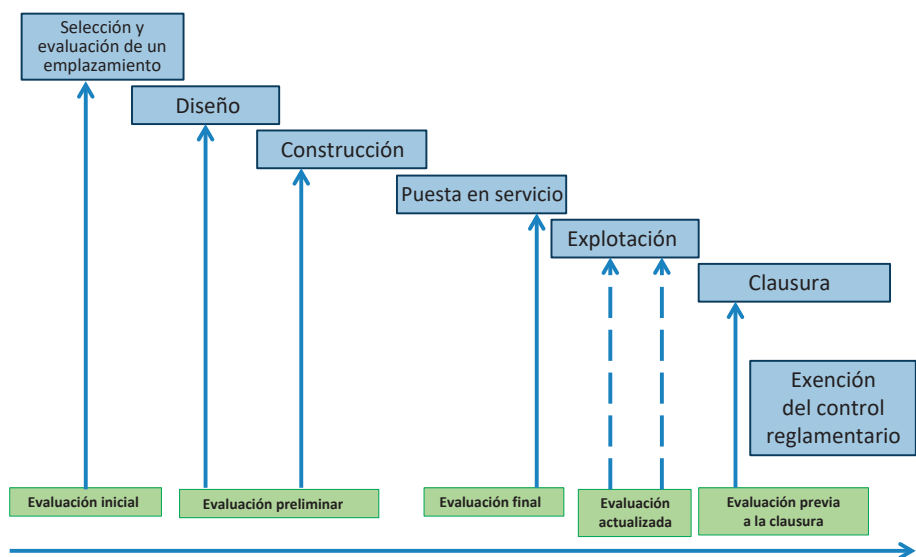


Fig. 1. Etapas de la vida de un establecimiento nuclear en que una evaluación prospectiva del impacto radiológico ambiental podría contribuir al proceso de autorización (adaptado de la publicación SSG-12 [33])

escenarios de exposición potencial en la etapa operacional. La flecha horizontal indica el paso del tiempo.

4.9. Durante la etapa de selección y evaluación del emplazamiento debería realizarse una evaluación inicial del impacto radiológico ambiental que haga uso de datos genéricos con el fin de determinar posibles regiones o emplazamientos para la instalación o actividad. Dicha evaluación debería incluir las características del emplazamiento y las características regionales que podrían afectar a la seguridad; la exposición de las personas; el uso actual y futuro del suelo; consideraciones relativas a la importancia cultural y económica, y consideraciones demográficas. En esta etapa, es posible que aún se estén examinando detalladamente los distintos diseños de la instalación, y la información disponible sobre los sistemas y los análisis de la seguridad del diseño puede ser limitada.

4.10. Una vez que se hayan preseleccionado uno o varios emplazamientos y se haya definido con mayor claridad el diseño de la instalación, debería realizarse una evaluación preliminar del impacto radiológico ambiental del lugar o lugares concretos utilizando los datos disponibles específicos del emplazamiento. En general, durante el período de construcción debería recopilarse más información pertinente para la evaluación, incluidos, cuando se considere

necesario, los resultados de las mediciones medioambientales y los resultados de los estudios sobre hábitos y condiciones de vida que se hayan realizado en el emplazamiento y sus alrededores. La evaluación debería perfeccionarse a medida que evolucione el proyecto y se disponga de más información para poder presentar un informe final de evaluación del impacto radiológico ambiental bien fundamentado en algún momento de la etapa de puesta en servicio, antes de que la entidad explotadora presente su solicitud final de autorización al órgano regulador. La publicación N° SSG-16 de la *Colección de Normas de Seguridad del OIEA*, titulada *Establishing the Safety Infrastructure for a Nuclear Power Programme* [22], ofrece orientación sobre la presentación y actualización de una evaluación del impacto radiológico ambiental en el marco del establecimiento de la infraestructura de seguridad para un programa nucleoelectrico.

4.11. La evaluación del impacto radiológico ambiental realizada antes del inicio de la explotación de una instalación o de la realización de una actividad debería contribuir a determinar los límites de descarga autorizados y cualquier otra magnitud operacional relacionada con la protección del público. En la publicación GSG-9 [9] se ofrece orientación sobre el establecimiento de límites de descarga autorizados.

4.12. En el caso de las instalaciones que ya estén en funcionamiento y las actividades que se estén realizando, la evaluación de la seguridad debería examinarse y actualizarse de manera periódica a intervalos predefinidos, de conformidad con los requisitos reglamentarios [5]; dicho examen debería tener en cuenta posibles cambios en los supuestos utilizados para realizar la evaluación del impacto radiológico ambiental y los resultados de los programas de monitorización de fuentes y de monitorización ambiental realizados durante la explotación. Puede ser necesario revisar la evaluación del impacto radiológico ambiental si se producen cambios significativos en las características de la instalación o actividad o en las características del lugar (véase el cuadro 1).

4.13. La evaluación prospectiva del impacto radiológico ambiental que se realice para una nueva instalación debería tener en cuenta la contribución a la exposición del público por parte de otras instalaciones que ya estén en funcionamiento o que se prevea construir en el emplazamiento contemplado o en sus proximidades.

4.14. Antes de iniciar las actividades de clausura, en el caso de determinadas instalaciones y actividades, como las instalaciones nucleares, las instalaciones de gestión de desechos radiactivos y las instalaciones de extracción y tratamiento de uranio, debería realizarse una evaluación prospectiva del impacto radiológico ambiental con fines de planificación [34].

4.15. Antes de que un emplazamiento deje de estar sometido a control reglamentario tras su clausura, podría ser necesario examinar la evaluación del impacto radiológico ambiental, en función de las condiciones radiológicas finales de la antigua instalación. Sin embargo, para la mayoría de las instalaciones y actividades tras su clausura, las exposiciones que se prevé que se produzcan y las exposiciones potenciales serán insignificantes o inexistentes, y los métodos utilizados para estimar dichas exposiciones y determinar los criterios radiológicos conexos variarán. Por ejemplo, en la estimación de las exposiciones, debería darse más importancia a los resultados de un estudio medioambiental final, y los criterios radiológicos podrían ser los criterios de autorización para el uso irrestricto tras la clausura, con arreglo a lo establecido por el órgano regulador [35].

4.16. Puede plantearse una situación particular tras la clausura de algunas instalaciones y actividades que se extiendan por grandes zonas, como las minas y fábricas de uranio, en las que el término fuente residual puede no ser insignificante y se prevé que el impacto radiológico sobre el público y el medio ambiente se produzca tras el cierre de la instalación o actividad. Las evaluaciones del impacto radiológico ambiental para tales situaciones deberían realizarse caso por caso, deberían tener en cuenta las características particulares del término fuente, y deberían utilizar los resultados de un estudio final, incluidos los datos de monitorización radiológica del medio ambiente. El órgano regulador debería considerar la necesidad de definir limitaciones respecto al uso de la tierra, sobre la base de criterios de autorización radiológicos para el uso restringido, y determinar las entidades competentes y especificar las disposiciones de control institucional [35].

LA EVALUACIÓN COMO PARTE DE UN PROCESO DECISORIO GUBERNAMENTAL

4.17. Como parte de un proceso decisorio gubernamental para determinadas instalaciones y actividades es necesario realizar una evaluación del impacto radiológico ambiental, la cual puede incluirse, por ejemplo, en el marco de un proceso de evaluación del impacto ambiental. Las instalaciones y actividades para las que se requiera una evaluación del impacto radiológico ambiental como parte de un proceso decisorio gubernamental, y el nivel de complejidad de dicha evaluación, deberían ser definidos por el Gobierno con la asistencia del órgano regulador, sobre la base del nivel de riesgo debido a las exposiciones que se prevé que se produzcan en condiciones normales de funcionamiento y derivado de las exposiciones potenciales, y otros factores que figuran en el cuadro 1.

Normalmente, debería realizarse una evaluación del impacto ambiental en la fase inicial del desarrollo de un programa nucleoelectrico (véase la publicación SSG-16 [22]).

4.18. El Gobierno o el órgano regulador deberían fijar los umbrales o criterios para la exención del requisito de evaluación del impacto radiológico ambiental a un nivel tal que todos los proyectos relacionados con un determinado tipo de instalación o actividad quedaran exentos si no se prevé ningún impacto radiológico ni en condiciones normales de funcionamiento ni en caso de accidente¹⁵. Alternativamente, si la reglamentación especifica que es necesario realizar una evaluación del impacto radiológico ambiental en todos los casos, la evaluación debería comenzar con una metodología conservadora muy sencilla, seguida de niveles crecientes de complejidad según sea necesario para llegar a una conclusión defendible. Este enfoque garantizará un alto nivel de transparencia y concuerda con el concepto de enfoque graduado.

4.19. Una evaluación del impacto radiológico ambiental realizada como parte de un proceso decisorio gubernamental se realiza normalmente en las primeras etapas de desarrollo del proyecto y, por lo general, tiene un menor grado de detalle y utiliza datos menos específicos que una evaluación del impacto radiológico ambiental realizada como parte de un proceso de autorización; sin embargo, ambas evaluaciones deberían ser coherentes entre sí.

4.20. En el caso de algunos tipos de instalaciones o actividades —por ejemplo, los hospitales que utilizan radionucleidos con fines de diagnóstico únicamente o los laboratorios de investigación que utilizan pequeñas cantidades de radionucleidos— puede que no sea necesario realizar una evaluación detallada del impacto radiológico ambiental como parte de un proceso decisorio gubernamental, ya que no se prevé ningún impacto considerable en el medio ambiente ni con respecto a las descargas en condiciones normales de funcionamiento ni en caso de emisiones accidentales; sin embargo, la autoridad nacional competente puede establecer sus propios requisitos en cuanto a la necesidad de realizar una evaluación del impacto radiológico ambiental para dichas actividades e instalaciones.

¹⁵ Algunas directivas internacionales, como el Convenio sobre la Evaluación del Impacto Ambiental en un Contexto Transfronterizo [23] y la Directiva 2011/92/UE relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente [26], especifican los tipos de instalaciones y actividades para los que es necesaria una evaluación del impacto ambiental.

4.21. Una evaluación del impacto radiológico ambiental como parte de un proceso decisorio gubernamental puede llevarse a cabo en una sola fase o en múltiples fases. La evaluación inicial puede tener un carácter algo más descriptivo y basarse en datos genéricos y supuestos prudentes; las evaluaciones posteriores pueden incluir modelos más realistas e información específica del emplazamiento. Las evaluaciones genéricas de instalaciones similares que ya estén en funcionamiento en otros emplazamientos pueden aportar información útil.

EVALUACIONES PARA OTROS FINES

4.22. El explotador de una instalación o actividad puede realizar una evaluación del impacto radiológico ambiental con el objetivo de introducir mejoras en los sistemas de seguridad de la instalación o actividad. Por ejemplo, como parte de un proceso para evaluar el rendimiento en materia de seguridad de una instalación o una actividad, el explotador puede evaluar la eficiencia de los sistemas para reducir las descargas radiactivas al medio ambiente (por ejemplo, filtros de aerosoles o tanques de desintegración utilizados durante el funcionamiento normal) o los sistemas para reducir las emisiones en caso de accidente (por ejemplo, filtros de emergencia). Para tales evaluaciones, deberían aplicarse los enfoques descritos en la presente guía de seguridad de modo que se tengan en cuenta todos los aspectos relativos a la protección del público y del medio ambiente.

COMUNICACIÓN DE RESULTADOS

4.23. El requisito 36 de la publicación N° GSR Part 1 (Rev. 1) de la *Colección de Normas de Seguridad del OIEA*, titulada *Marco gubernamental, jurídico y regulador para la seguridad* [36], dispone que el órgano regulador, ya sea directamente o a través del explotador de una instalación o actividad, ha de establecer mecanismos eficaces de comunicación para informar a las partes interesadas sobre los posibles riesgos radiológicos asociados a la instalación o actividad y sobre los procesos y decisiones del órgano regulador. Deberían tenerse en cuenta los factores del cuadro 1 al establecer el contenido y el grado de detalle de la información que haya de facilitarse a las partes interesadas pertinentes. Dependiendo de la importancia nacional de la instalación o actividad, deberían participar tanto las autoridades gubernamentales como el órgano regulador, especialmente cuando dicha comunicación se considere necesaria para informar al público de manera eficaz. La publicación N° GSG-6 de la *Colección de Normas de Seguridad del OIEA*, titulada *Communication and Consultation*

with Interested Parties by the Regulatory Body [37], proporciona orientación sobre la comunicación y consultas con las partes interesadas por parte del órgano regulador.

4.24. Las evaluaciones prospectivas del impacto radiológico ambiental suelen publicarse en documentos técnicos destinados a personas expertas en la materia. Normalmente, dichas personas son expertos en seguridad nuclear y protección radiológica del órgano regulador, las organizaciones de apoyo técnico, los organismos de salud pública o los organismos de medio ambiente. La evaluación del impacto radiológico ambiental debería estar bien documentada y ser transparente, de modo que pueda ser comprendida por un público más amplio, que tal vez no tenga conocimientos muy especializados, como el público en general y los departamentos y ministerios gubernamentales que no se ocupen directamente de cuestiones de seguridad y protección radiológica. La información sobre la evaluación debería facilitarse en un lenguaje técnico adecuado. Además, un resumen no técnico de los capítulos pertinentes de los informes más técnicos y de las principales conclusiones de la evaluación podría ser útil para algunas partes interesadas.

4.25. La comunicación de los resultados es tan importante como la realización de una evaluación del impacto radiológico ambiental sólida desde el punto de vista técnico. Para contextualizar los resultados debidamente, debería incluirse información esencial sobre los efectos de las radiaciones y los aspectos de seguridad relacionados con el diseño, la explotación, el mantenimiento y la vigilancia de las instalaciones y actividades, junto con los resultados específicos de la evaluación.

4.26. Cuando los resultados de una evaluación indiquen que la información es pertinente más allá de las fronteras nacionales, dicha información debería compartirse con los Estados en cuestión. El Estado en que se encuentre la instalación o se realice la actividad debería disponer con los Estados en cuestión los medios para intercambiar información y celebrar consultas, según proceda.

4.27. La información utilizada como base para la evaluación del impacto radiológico ambiental debería ponerse, en la medida de lo posible, a disposición de todas las partes interesadas, con el fin de promover la transparencia y fomentar la confianza. No obstante, cierta información podría tener implicaciones comerciales o en materia de seguridad nuclear tecnológica y física (por ejemplo, planos de la distribución de las instalaciones, información sobre secuencias de accidentes en la central). Dicha información debería ponerse a disposición solamente del órgano regulador y otros organismos gubernamentales y debería

tratarse de forma confidencial. Normalmente, el Gobierno, en consulta con el órgano regulador nacional y otras organizaciones nacionales pertinentes, debería establecer qué información puede ponerse a disposición del público. El motivo de la restricción del acceso a determinada información sensible debería explicarse claramente de modo que las partes interesadas no lo perciban como una ocultación de información que resulte pertinente para estimar y comprender los riesgos radiológicos para las personas y el medio ambiente. La responsabilidad de garantizar la solidez técnica de toda información restringida que se utilice para fundamentar la evaluación debería seguir recayendo en los organismos gubernamentales que desempeñen funciones relacionadas con la seguridad nuclear tecnológica y física.

5. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN PROSPECTIVA DEL IMPACTO RADIOLÓGICO AMBIENTAL

CONSIDERACIONES GENERALES

5.1. Esta sección presenta una metodología para evaluar el impacto radiológico en el público derivado de las exposiciones que se prevé que se produzcan durante el funcionamiento normal de instalaciones y actividades y de las exposiciones potenciales debidas a escenarios de accidentes, y aborda si la protección del medio ambiente puede tenerse en cuenta en la evaluación y el modo de hacerlo.

5.2. Dado que la evaluación del impacto radiológico ambiental que se describe en esta guía de seguridad es de carácter prospectivo, habrá que recurrir a la modelización matemática para evaluar, por ejemplo, la dispersión de radionucleidos en el medio ambiente, la transferencia de radionucleidos a través de compartimentos ambientales¹⁶, la captación de radionucleidos por los seres humanos y la biota en la cadena alimentaria humana y, por último, las dosis de radiación que reciban los seres humanos resultantes de las exposiciones externas e internas. Los modelos deberían ser adecuados para la situación en la que se

¹⁶ Los compartimentos ambientales son, por ejemplo, el aire, el agua, los sedimentos y la biota.

apliquen, y deberían verificarse¹⁷. Los supuestos de los modelos y la elección de parámetros deberían describirse con suficiente grado de detalle y deberían indicarse en aras de la transparencia y para que puedan verificarse de manera independiente.

5.3. En la medida de lo posible, los modelos seleccionados deberían validarse mediante una comparación de los resultados de los cálculos realizados utilizando los modelos con datos reales procedentes de mediciones correspondientes a escenarios de exposición similares o, de no ser posible, mediante procedimientos de análisis comparativo con otros modelos adecuados. Los programas de monitorización ambiental correspondientes a la fase de explotación de una instalación o actividad pueden utilizarse no solo para verificar el cumplimiento de los límites de descarga y los límites de dosis, sino también para confirmar que los modelos ambientales utilizados en la evaluación prospectiva eran adecuados.

5.4. Para llevar a cabo una evaluación del impacto radiológico ambiental pueden utilizarse diversos métodos, entre ellos distintos instrumentos de cálculo y datos de entrada. En la referencia [10] figura información sobre los métodos conservadores genéricos. El solicitante debería determinar el grado de complejidad y detalle de los métodos propuestos, en función de las características de la instalación o actividad y de la ubicación (véase el cuadro 1). El solicitante es responsable de seleccionar los métodos más apropiados, con arreglo a la orientación proporcionada por el órgano regulador. El órgano regulador nacional debería decidir, en consulta con el solicitante y otras partes interesadas, qué metodología conviene utilizar para llevar a cabo una evaluación concreta y debería convenir en que la metodología adoptada sea adecuada para el fin propuesto.

5.5. Una de las consideraciones a la hora de decidir los métodos para una evaluación del impacto radiológico ambiental es el equilibrio entre la cantidad de esfuerzo factible y el grado de detalle necesario. Por ejemplo, en el caso de una instalación o una actividad con bajos niveles de descarga, que den lugar a dosis

¹⁷ Existen diversos modelos “de última generación” aplicables a la evaluación del impacto radiológico ambiental que han sido desarrollados y utilizados por diversos Estados y, en algunos casos, proporcionados por empresas comerciales. El OIEA lleva a cabo de manera periódica proyectos internacionales para la validación de modelos y datos, en los que algunos de estos modelos se utilizan en casos de prueba y para análisis comparativos. En la referencia [38] puede consultarse información sobre los modelos aplicados en el marco del programa EMRAS (Elaboración de Modelos Ambientales para la Seguridad Radiológica) del OIEA; se están preparando informes sobre los modelos aplicados en el marco de los programas EMRAS II y MODARIA (Elaboración de Modelos y Datos para la Evaluación del Impacto Radiológico).

cercanas a los criterios de exención, y una baja probabilidad de sufrir un accidente que tenga consecuencias para el público y el medio ambiente, el uso de métodos detallados no sería necesario en general. Para estos tipos de instalaciones o actividades, el órgano regulador, los proveedores o las asociaciones profesionales pueden formular orientaciones genéricas en que se establezcan métodos sencillos y conservadores que puedan utilizar los solicitantes para sus evaluaciones. Estos métodos deberían ser adecuados para la tarea en cuestión y deberían tener en cuenta debidamente todos los aspectos relacionados con la transferencia medioambiental, como la bioacumulación.

5.6. En el caso de instalaciones para las que esté justificado realizar evaluaciones complejas, el grado de detalle de los modelos y datos utilizados para la evaluación puede evolucionar durante el proceso decisorio gubernamental o el proceso de autorización.

EVALUACIÓN PARA LA PROTECCIÓN DEL PÚBLICO EN CONDICIONES NORMALES DE FUNCIONAMIENTO

5.7. Las instalaciones y actividades que utilizan o procesan fuentes o materiales radiactivos se diseñan, construyen, ponen en servicio, explotan o realizan, mantienen y clausuran, y se regulan a lo largo de todas estas etapas, con el fin de prevenir o minimizar las emisiones de materiales radiactivos al medio ambiente. Sin embargo, pueden encontrarse cantidades muy bajas de residuos de radionucleidos en algunos de los efluentes gaseosos o líquidos resultantes del funcionamiento normal. Debido a los grandes volúmenes implicados, podría ser difícil técnicamente almacenar todo este material de residuos en el emplazamiento y, en vista de las bajas concentraciones de la actividad, el costo que conllevaría sería probablemente excesivo e injustificado desde el punto de vista de la protección radiológica. En algunos casos, una instalación o actividad también puede provocar una exposición debido a la irradiación directa. Con el fin de controlar las dosis para el público, de conformidad con los requisitos de seguridad de la publicación GSR Part 3 [1], debería realizarse una evaluación prospectiva de las posibles dosis para los miembros del público procedentes de las descargas gaseosas y líquidas y de la irradiación directa, y los resultados deberían compararse con los criterios definidos.

Enfoque de la evaluación

5.8. La evaluación del impacto radiológico ambiental para el público en condiciones normales de funcionamiento emplea estimaciones de la dosis para

el público debida a las descargas resultantes del funcionamiento de la instalación o de la realización de la actividad. La figura 2 resume los componentes de una evaluación de ese tipo. En términos generales, el primer elemento de la evaluación debería ser caracterizar la fuente de radiación en relación con la exposición del público. A continuación, deberían tenerse en cuenta la dispersión en el medio ambiente y la transferencia de radionucleidos en los compartimentos ambientales pertinentes para las vías de exposición señaladas y la ubicación. Después, las concentraciones de la actividad estimadas en diversos medios naturales deberían combinarse con los datos relativos a los hábitos y condiciones de vida (por ejemplo, frecuencia respiratoria, consumo de agua, consumo de alimentos) y los factores de ocupación del tiempo (por ejemplo, el tiempo que se pasa en un lugar determinado o dentro o fuera de los edificios) para calcular la incorporación de radionucleidos (exposición interna) o la irradiación externa (exposición externa) de la persona representativa¹⁸. La incorporación de radionucleidos y la irradiación externa deberían combinarse con los datos dosimétricos para calcular las dosis para la persona representativa y compararlas con los criterios pertinentes (por ejemplo, restricciones de dosis). En los párrafos 5.9 a 5.42 se describen los distintos componentes de la evaluación presentados en la figura 2.

Selección del término fuente

5.9. El término fuente seleccionado para una evaluación del impacto radiológico ambiental debería ser representativo del tipo de instalación o actividad que se evalúe. Deberían seleccionarse la composición y cantidad de radionucleidos pertinentes, desde el punto de vista de la protección radiológica, así como la vía de descarga y las propiedades físicas (es decir, gas, aerosol o líquido) y propiedades químicas pertinentes para las transferencias ambientales y la dosimetría de los radionucleidos. Las descargas a la atmósfera y al medio acuático y la irradiación directa deberían considerarse por separado, según proceda.

5.10. En algunos casos, por ejemplo una evaluación del impacto radiológico ambiental para un proceso decisorio gubernamental o las fases iniciales de un proceso de autorización, podría utilizarse un término fuente genérico para la instalación o actividad propuesta sobre la base de estimaciones preliminares, datos publicados o la experiencia de instalaciones o actividades parecidas. En los informes publicados por el Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas [39 y 40] puede consultarse información sobre términos fuente genéricos con respecto al funcionamiento

¹⁸ En los párrafos 5.32 a 5.35 se exponen el concepto y las características de la persona representativa en condiciones normales de funcionamiento.

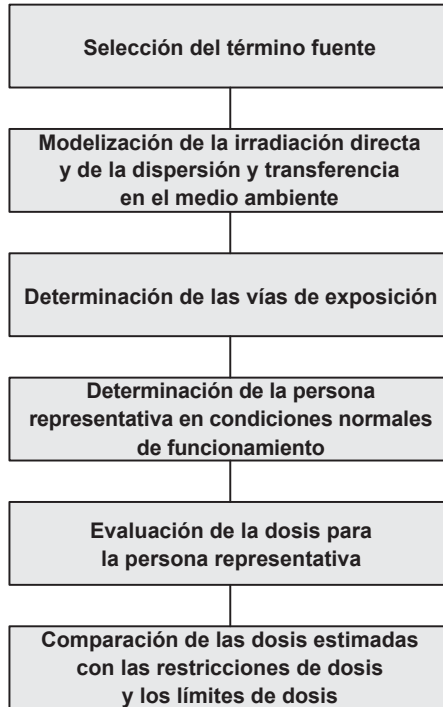


Fig. 2. Componentes de una evaluación del impacto radiológico ambiental para la protección del público en condiciones normales de funcionamiento. (La presente figura no pretende constituir un procedimiento detallado paso a paso, sino que se presenta para ilustrar los elementos de la evaluación y facilitar su descripción).

normal de las centrales nucleares y otras instalaciones y actividades. Más adelante, cuando se conozcan más detalles sobre el diseño y explotación de la instalación o actividad, el término fuente debería caracterizarse con mayor exactitud mediante un análisis de ingeniería adecuado.

5.11. La descarga total de cada radionucleido debería integrarse a lo largo del período exigido por el órgano regulador; por lo general, la descarga se expresa como nivel de actividad emitida por año de explotación. Para la mayoría de las instalaciones y actividades, una evaluación del impacto radiológico ambiental suele suponer que las descargas son continuas y constantes durante el período operacional, por ejemplo, entre 30 y 50 años. Este supuesto puede no ser siempre válido, ya que se prevén variaciones considerables en las descargas en un corto período de tiempo; por ejemplo, en el caso de patrones de emisión pulsada de instalaciones o actividades, como las descargas de ^{131}I al sistema de alcantarillado

desde hospitales y las descargas desde plantas de reprocesamiento e instalaciones de procesamiento de materiales, que suelen funcionar por lotes. Los efectos de esos patrones de emisión pulsada, en caso de que sean considerables, deberían tenerse en cuenta en la evaluación. También debería tenerse en cuenta que las descargas al medio ambiente podrían continuar tras el cese de la explotación debido a la presencia de radionucleidos residuales en la instalación.

Modelización de la irradiación directa y de la dispersión y transferencia en el medio ambiente

5.12. La irradiación gamma directa procedente de la instalación o actividad y, en algunos casos, las radiaciones gamma dispersas en la atmósfera (radiactividad del cielo), que pueden contribuir a la exposición externa del público situado en las inmediaciones, deberían incluirse en la evaluación y, si es necesario, deberían estimarse utilizando modelos o la experiencia de instalaciones o actividades similares (por ejemplo, los resultados de programas de monitorización). En el caso de las instalaciones y actividades que utilizan solamente fuentes radiactivas selladas o generadores de radiación, dicha irradiación directa podría ser la única fuente de radiación o la más importante a la hora de determinar la exposición del público. En el caso de otras instalaciones y actividades, la irradiación directa podría contribuir a la dosis externa para el público situado en las inmediaciones de la instalación.

5.13. Se necesitan diversos modelos y datos para predecir la dispersión y transferencia de radionucleidos a través de los medios naturales y a la persona representativa. Deberían determinarse los procesos de mayor pertinencia para la estimación de dosis, y debería elaborarse un modelo conceptual en forma de representación que recoja los elementos o componentes clave de un sistema complejo, como el comportamiento de los radionucleidos emitidos al medio ambiente. El modelo conceptual debería representar las vías de dispersión y de transferencia pertinentes que se hayan determinado.

5.14. Las concentraciones de la actividad en los compartimentos ambientales (por ejemplo, aire, sedimentos, suelo, agua, biota) resultantes de las descargas postuladas de materiales radiactivos deberían estimarse mediante modelos matemáticos. Se han desarrollado modelos matemáticos para evaluar la dispersión y las transferencias de radionucleidos con distintos niveles de complejidad, que se describen en la referencia [10].

5.15. Existen dos enfoques posibles del uso de modelos y datos para la evaluación, a saber a) una metodología genérica y más sencilla, que tiene en

cuenta la dilución, la dispersión y la transferencia de material radiactivo al medio ambiente con supuestos prudentes, y b) una metodología específica y más detallada que utiliza parcial o totalmente datos específicos del emplazamiento para estimar las concentraciones de la actividad en diferentes medios naturales, con supuestos más realistas. En algunas situaciones, una combinación de modelos genéricos con datos específicos del emplazamiento también podría ser adecuada para la evaluación. En todos los casos, los modelos seleccionados deberían ser adecuados para estimar la distribución espacial y la variación temporal de las concentraciones de la actividad en el medio ambiente. La complejidad del modelo utilizado debería ser proporcional al nivel probable de impacto ambiental de la instalación o actividad y debería ser propuesta y justificada por el solicitante y aceptada por el órgano regulador.

5.16. Los modelos seleccionados deberían ser adecuados para simular la dispersión, dilución, transferencia y acumulación de radionucleidos y su desintegración u otros mecanismos de eliminación, según convenga, teniendo en cuenta las características de las emisiones previstas durante el funcionamiento normal de la instalación o actividad. Ello incluye los siguientes procesos:

- a) la dispersión atmosférica de radionucleidos;
- b) la deposición de radionucleidos de la atmósfera sobre el suelo u otras superficies y su posterior resuspensión;
- c) la dispersión acuática de radionucleidos en aguas superficiales (agua dulce, salobre o marina) y subterráneas;
- d) la acumulación y posterior removilización de radionucleidos en sedimentos acuáticos, y
- e) la transferencia de radionucleidos a plantas y animales de la cadena alimentaria humana, y la acumulación en ellos.

5.17. Los modelos utilizados para estimar las concentraciones de la actividad en los medios naturales deberían tener en cuenta las propiedades fisicoquímicas de las descargas. Por ejemplo, deberían estimarse la altura efectiva de emisión, los efectos de los edificios cercanos en la dispersión de efluentes o los efectos de la batimetría local (para las masas de agua). También deberían tenerse en cuenta los mecanismos de eliminación o acumulación, como la desintegración de los radionucleidos padres y el crecimiento de descendientes radiactivos, la deposición húmeda y seca, y la sedimentación.

5.18. En el caso de las instalaciones o actividades que requieran evaluaciones sencillas, los datos sobre las condiciones meteorológicas e hidrológicas introducidos en los modelos podrían ser de carácter genérico y basarse en datos

publicados o registros nacionales. Las condiciones meteorológicas e hidrológicas utilizadas para evaluaciones más complejas deberían ser adecuadas y específicas para el emplazamiento en cuestión y, a ser posible, deberían promediarse a lo largo de varios años de datos (al menos de tres a cinco años). Es posible que dichos datos estén disponibles para el propio emplazamiento o que puedan obtenerse de estaciones meteorológicas o hidrológicas cercanas.

5.19. En general, pueden utilizarse modelos de dispersión atmosférica de tipo gaussiano [10], sobre todo cuando las características geográficas de los emplazamientos que se examinen permitan suponer escenarios de dispersión simples (por ejemplo, en el caso de un terreno relativamente llano) y las personas con más probabilidades de recibir las dosis más elevadas vivan o se postule que vivan a menos de 10 o 20 km del punto de emisión. Sin embargo, para condiciones de dispersión más complejas —por ejemplo, instalaciones situadas cerca de regiones montañosas o zonas en las que se prevean circulaciones atmosféricas locales complejas— pueden ser necesarios modelos de dispersión más complejos. En cualquier caso, las predicciones deberían basarse en supuestos realistas en la medida de lo posible, y en supuestos prudentes cuando las incertidumbres o la variabilidad de los datos impidan aplicar esos supuestos realistas. Si ya se ha determinado la ubicación de la instalación en el momento de realizar la evaluación, los supuestos deberían tener en cuenta las condiciones específicas del emplazamiento. Si aún no se ha determinado la ubicación de la instalación, debería utilizarse información genérica a nivel regional hasta que se conozcan más detalles sobre la ubicación exacta.

5.20. Los radionucleidos pueden descargarse en un medio de agua dulce o marino o un estuario. Los radionucleidos que se descargan en masas de agua se dispersan o concentran mediante procesos ambientales como el movimiento del agua y la sedimentación. Ello depende en gran medida de las características locales del medio acuático, por lo que no es posible disponer de un modelo completamente genérico para las emisiones acuáticas. Por ejemplo, la información utilizada en la modelización de la dispersión acuática de un río debería incluir al menos las dimensiones del río y su caudal [10]. Los modelos deberían poder estimar las concentraciones de la actividad en la columna de agua y en los sedimentos. A partir de estas estimaciones, pueden calcularse las concentraciones de la actividad en los alimentos acuáticos, como peces, moluscos y crustáceos, según proceda, junto con la irradiación externa debida a sedimentos en las orillas.

5.21. En el caso de algunas instalaciones y actividades, pueden producirse descargas de efluentes líquidos radiactivos al sistema de alcantarillado, y posteriormente las aguas residuales pasan por plantas de tratamiento. A la

hora de evaluar las dosis derivadas de dichas descargas, los modelos deberían poder estimar la transferencia de los radionucleidos a través del sistema de alcantarillado y su posterior emisión al medio ambiente (por ejemplo, utilizando modelos compartimentados¹⁹). Podrían descargarse radionucleidos con el efluente tratado a ríos o aguas costeras, en cuyo caso deberían utilizarse los modelos con las características indicadas en el párrafo 5.20. Además, los radionucleidos pueden estar asociados a los lodos de aguas residuales, que se gestionan de diversas formas, lo cual incluye su reutilización como acondicionador del suelo y fertilizante en terrenos agrícolas, su tratamiento o eliminación mediante incineración, o su traslado a un vertedero municipal de desechos. Deberían utilizarse modelos adecuados para estimar la transferencia de radionucleidos presentes en los lodos de aguas residuales a las cadenas alimentarias terrestres y a la atmósfera como consecuencia de la resuspensión, según proceda. También puede ser necesario evaluar la exposición de los trabajadores que intervienen en el funcionamiento de los sistemas de alcantarillado y en las plantas de tratamiento.

5.22. Cuando se descargan radionucleidos de forma continua, estos se acumulan en el medio ambiente de tal manera que pueden suponerse condiciones de equilibrio. Las estimaciones de dosis deberían calcularse para el período de tiempo en que se prevea la mayor exposición a la radiación. Las concentraciones de la actividad en los medios naturales que se utilicen para estimar las dosis deberían ser representativas de las condiciones en las que se puede suponer que la acumulación sea máxima. Por ejemplo, si se prevé que una instalación estará en funcionamiento durante 30 o 40 años, la dosis debería evaluarse con respecto al trigésimo o cuadragésimo año para tener en cuenta la acumulación máxima en el medio ambiente. En el caso de las instalaciones o actividades desde las que se descarguen radionucleidos de período largo, las exposiciones máximas pueden producirse mucho después del cese de las operaciones, por ejemplo como consecuencia de la lentitud de los procesos de migración de los radionucleidos en el medio ambiente más allá del período de explotación. La evaluación debería tener en cuenta esta posibilidad.

5.23. Debería tenerse en cuenta la contribución a la dosis procedente de los descendientes radiactivos en las cadenas de desintegración radiactiva. En algunos casos, los productos de desintegración pueden ser radiológicamente más significativos que el radionucleido padre, por lo que es importante tener en cuenta el crecimiento de dichos productos de desintegración. Entre los ejemplos

¹⁹ Los modelos compartimentados se utilizan para representar diferentes procesos de transferencia entre los compartimentos de un sistema, suponiendo que cada compartimento es una entidad homogénea.

de productos de desintegración radiológicamente más significativos que sus radionucleidos padres figuran la cadena de desintegración del uranio y el ^{241}Pu , que se desintegra en ^{241}Am . Deberían justificarse los supuestos y enfoques utilizados con respecto a los descendientes radiactivos, incluido el hecho de que estos no se tengan en cuenta, si procede.

5.24. La transferencia de radionucleidos desde los medios naturales a las plantas y animales de la cadena alimentaria humana debería estimarse mediante el uso de parámetros genéricos de transferencia, como los factores de transferencia para alimentos en los ecosistemas terrestres, marinos y de agua dulce que figuran en las referencias [10 a 12]. Si es necesario perfeccionar la evaluación —por ejemplo, cuando las dosis estimadas inicialmente utilizando factores de transferencia genéricos estén por encima o cerca de los criterios de dosis seleccionados—, podría ser necesario el uso de factores de transferencia basados en mediciones específicas del emplazamiento; sin embargo, podría ser difícil obtener dichos factores de transferencia para una evaluación prospectiva. El órgano regulador debería decidir si en una evaluación deberían utilizarse datos específicos del emplazamiento basados en mediciones. Las incertidumbres en los parámetros de transferencia resultantes de la falta de datos específicos de un emplazamiento pueden compensarse mediante el uso de datos genéricos con supuestos prudentes, aunque dichos supuestos no deberían ser excesivamente pesimistas.

5.25. En el caso de las instalaciones que requieran una evaluación compleja, puede realizarse una estimación preliminar de la dispersión y transferencia al medio ambiente en las etapas iniciales de un proceso de autorización utilizando modelos conservadores sencillos y datos meteorológicos e hidrológicos genéricos para la región (por ejemplo, procedentes de datos publicados o de registros de las estaciones meteorológicas o hidrológicas más cercanas, que a veces pueden estar situadas desde decenas a centenares de kilómetros de los emplazamientos). En etapas posteriores del proceso de autorización, deberían utilizarse, a medida que estén disponibles, los datos meteorológicos e hidrológicos procedentes de mediciones realizadas en el emplazamiento o muy cerca del lugar en que se encuentre la instalación. Dichas mediciones locales suelen realizarse en las etapas de reconocimiento de emplazamientos y de construcción. Los requisitos y recomendaciones sobre el tipo y contenido de los datos que deberían estar disponibles en las etapas posteriores del proceso de concesión de licencias pueden consultarse en la publicación N° NS-R-3 (Rev. 1) de la *Colección de Normas de Seguridad del OIEA*, titulada *Evaluación del emplazamiento de instalaciones nucleares* [41]; la publicación N° SSG-18 de la *Colección de Normas de Seguridad del OIEA*, titulada *Meteorological and Hydrological Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations* [42], y la publicación N° NS-G-3.2 de la

Colección de Normas de Seguridad del OIEA, titulada Dispersion of Radioactive Material in Air and Water and Consideration of Population Distribution in Site Evaluation for Nuclear Power Plants [43].

Determinación de las vías de exposición

5.26. Deberían calcularse las dosis con respecto a una serie de vías de exposición que se consideren pertinentes para las descargas al medio ambiente en escenarios concretos. En los párrafos siguientes se indican las posibles vías de exposición, tanto interna como externa, que podrían tenerse en cuenta.

5.27. Entre las posibles vías de exposición para las emisiones de radionucleidos a la atmósfera y aguas superficiales en condiciones normales de funcionamiento (por lo general, para instalaciones nucleares como las centrales nucleares) figuran, por ejemplo, las siguientes:

- a) la inhalación de material suspendido en un penacho atmosférico (gases, vapores, aerosoles);
- b) la inhalación de material resuspendido;
- c) la ingestión de cultivos;
- d) la ingestión de productos alimenticios de origen animal (leche, carne, huevos);
- e) la ingestión de agua potable;
- f) la ingestión de alimentos acuáticos (peces de agua dulce o salada, crustáceos, moluscos);
- g) la ingestión de alimentos del bosque (setas silvestres, bayas silvestres, animales de caza);
- h) la ingestión de leche materna o alimentos preparados localmente para lactantes;
- i) la ingestión involuntaria de tierra y sedimentos;
- j) la exposición externa por radionucleidos en un penacho atmosférico (radiactividad de la nube);
- k) la exposición externa por radionucleidos depositados sobre el suelo (irradiación del suelo) y sobre las superficies, y
- l) la exposición externa por radionucleidos presentes en el agua y los sedimentos (es decir, vinculada a actividades en la costa, la natación y la pesca).

5.28. Entre las posibles vías de exposición para las emisiones al sistema de alcantarillado en condiciones normales de funcionamiento (por lo general, para hospitales con departamentos de medicina nuclear) figuran las siguientes:

- a) la inhalación de lodos de aguas residuales secos resuspendidos;
- b) la exposición externa por radionucleidos presentes en los lodos de aguas residuales secos o húmedos, y
- c) la ingestión de alimentos afectados por el uso de lodos de aguas residuales tratados con fines agrícolas.

5.29. En el caso de algunas instalaciones o actividades, las fuentes de radiación podrían contribuir a las dosis externas para los miembros del público que vivan en las inmediaciones de la instalación²⁰. Otras vías de exposición que conviene tener en cuenta son las siguientes:

- a) la exposición externa debida a la irradiación directa procedente de fuentes de radiación almacenadas en la instalación (por ejemplo, procedente de combustible gastado o desechos radiactivos);
- b) la exposición externa debida a la irradiación directa procedente de fuentes utilizadas en la instalación (por ejemplo, procedente de irradiadores industriales), y
- c) la exposición externa debida a la irradiación directa procedente de la instalación (por ejemplo, procedente de componentes nucleares o radiactivos de la instalación o de componentes secundarios como desechos almacenados, sistemas de refrigeración o sistemas de vapor).

5.30. Dependiendo de los escenarios de exposición y de las características del emplazamiento, puede que no sea necesario incluir en la evaluación todas las vías de exposición enumeradas en los párrafos anteriores. En determinados casos, podrían determinarse vías adicionales. La contribución de una vía de exposición a la dosis total depende de los radionucleidos en cuestión, los datos sobre hábitos, el tiempo de permanencia en un lugar y otras características de la población objeto de estudio. Por lo tanto, es posible excluir de la evaluación algunas vías de exposición si se considera que las dosis asociadas a ellas son inexistentes o insignificantes. La decisión de que no se tengan en cuenta determinadas vías de exposición debería justificarse.

5.31. En algunas circunstancias, puede ser posible utilizar valores genéricos para calcular las dosis derivadas de la ingestión con respecto a categorías muy

²⁰ Los trabajadores expuestos a radiaciones procedentes de fuentes que no guarden relación directa con su trabajo han de recibir el mismo nivel de protección que los miembros del público (véase el párr. 3.78 de la publicación GSR Part 3 [1]). Por consiguiente, a efectos de la evaluación del impacto radiológico ambiental, dichos trabajadores del emplazamiento se consideran miembros del público.

generales de alimentos solamente. Por ejemplo, solo pueden calcularse dosis en general para la ingestión de cultivos, sin que sea posible especificar qué tipos de cultivos es probable que se consuman. Sin embargo, si se han realizado reconocimientos cerca del emplazamiento, puede ser conveniente utilizar valores específicos del emplazamiento para los cultivos reales de la región.

Determinación de la persona representativa en condiciones normales de funcionamiento

5.32. La dosis para la persona representativa²¹ debería calcularse utilizando características seleccionadas a partir de un grupo de personas representativo de aquellas más altamente expuestas de la población. La Publicación 101 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) [44] ofrece orientación sobre las características de la persona representativa.

5.33. El solicitante debería especificar las características de la persona representativa con arreglo a la reglamentación nacional y de acuerdo con los requisitos del órgano regulador. Por ejemplo, el órgano regulador puede exigir el uso de datos de hábitos más detallados y específicos del emplazamiento con respecto a evaluaciones realizadas para determinados tipos de instalaciones o en etapas posteriores del proceso de autorización.

5.34. Los datos sobre los hábitos de la persona representativa deberían representar los hábitos típicos de la población que vive en la región en que se encuentra la instalación o en el Estado en general. Los datos sobre hábitos utilizados en una evaluación pueden obtenerse a partir de estadísticas recopiladas a escala nacional, regional o internacional o, cuando sea posible, de estudios realizados en el lugar donde la instalación estará en funcionamiento, o en sus proximidades. Los datos sobre hábitos incluyen las tasas de consumo de alimentos y agua potable y las tasas de inhalación. Entre las características importantes a la hora de evaluar las dosis para la persona representativa figuran la ubicación hipotética

²¹ La ICRP define el concepto de persona representativa a los efectos de la protección radiológica. En la publicación GSR Part 3 [1] se define a la persona representativa como el “individuo que recibe una dosis que es representativa de las dosis que reciben los individuos más altamente expuestos de la población”. La persona representativa no es un miembro real de la población, sino una persona de referencia definida mediante modelos dosimétricos y datos de hábitos característicos de las personas más altamente expuestas, que se utiliza en las determinaciones de conformidad o en las evaluaciones prospectivas. La persona representativa que ha de utilizarse a los efectos de la evaluación y el control de las exposiciones debidas a descargas en condiciones normales de funcionamiento se define en la legislación o reglamentación nacional de algunos Estados.

de la persona representativa (por ejemplo, su distancia y dirección con respecto al punto de emisión de radionucleidos). También es importante dónde obtiene los alimentos la persona representativa, la fracción de los alimentos consumidos que sea de origen local o regional, el tiempo que pasa en los distintos lugares, y las fracciones de tiempo que pasa al aire libre y en interiores. El lugar en que vive la persona representativa puede basarse en una persona o grupo de personas reales, o en una persona o grupo de personas postulados que vivan en un lugar que se haya seleccionado mediante el uso de supuestos prudentes (por ejemplo, cerca de la valla o en una región donde cabe prever que tenga lugar la mayor deposición de radionucleidos en el suelo).

5.35. Deberían tenerse en cuenta los factores que reducen el nivel de exposición radiológica donde vive la gente, como el grado de blindaje o filtrado que ofrecen los edificios que se supone que están habitados.

Evaluación de la dosis para la persona representativa

5.36. La evaluación del impacto radiológico en el público debería estimarse utilizando la dosis efectiva individual para la persona representativa, que es la suma de la dosis efectiva comprometida derivada de la incorporación de radionucleidos²² (es decir, resultante de la exposición interna por ingestión e inhalación) y la dosis efectiva resultante de la exposición externa [1 y 3]. Las dosis resultantes de la exposición interna se calculan utilizando coeficientes de dosis correspondientes a la incorporación de radionucleidos por ingestión e inhalación, que proporcionan la dosis efectiva comprometida por unidad de actividad de incorporación, expresada en unidades de sieverts por becquerel (Sv/Bq). Los valores tabulados de los coeficientes de dosis aplicables a los miembros del público pueden consultarse en varias publicaciones [1 y 45]. El período de compromiso asumido por la ICRP para calcular los coeficientes de dosis presentados en las referencias [1 y 45] es de 50 años para las incorporaciones en adultos y de 70 años para las incorporaciones en niños. Existen modelos estándar para calcular la dosis efectiva resultante de la exposición externa, así como compilaciones de coeficientes de dosis [1 y 46].

5.37. Se proporcionan coeficientes de dosis correspondientes a la exposición interna para diferentes grupos de edad [1 y 45]. Si existen circunstancias que

²² La “dosis comprometida” es la dosis de por vida que cabe prever como resultado de una incorporación. En orientaciones anteriores del OIEA se ofrece más información: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Principles for Limiting Releases of Radioactive Effluents into the Environment, IAEA Safety Series No. 77, IAEA, Vienna (1986).

puedan dar lugar a que un grupo de edad concreto esté más altamente expuesto, ese grupo de edad debería tenerse en cuenta en la evaluación. La aplicación de diferentes coeficientes de dosis para diferentes grupos de edad debería sopesarse en relación con la capacidad de predecir las concentraciones de radionucleidos en el medio ambiente procedentes de una fuente y la capacidad de tener en cuenta las incertidumbres en los datos relativos a los hábitos de los individuos expuestos. Las incertidumbres en las estimaciones de dosis, en particular para los cálculos prospectivos, no suelen reducirse considerablemente al aumentar el número de grupos de edad para los que se proporcionan coeficientes de dosis [44]. La especificación de los grupos de edad debería basarse en los escenarios de exposición para la instalación y actividad en el emplazamiento objeto de examen. El cálculo de las dosis para entre dos y cuatro grupos de edad debería ser suficiente en la mayoría de los casos (por ejemplo, lactantes de 1 año, niños de 10 años y adultos). Tal vez sea necesario considerar por separado las exposiciones del embrión o feto y de los lactantes amamantados, especialmente si las descargas de yodo radiactivo son considerables.

Comparación de las dosis estimadas con las restricciones de dosis y los límites de dosis

5.38. A efectos de comparación con las estimaciones de dosis, el Gobierno o el órgano regulador ha de establecer o aprobar una restricción de dosis por debajo del límite de dosis para los miembros del público [1]. La publicación GSG-8 [7] proporciona orientación sobre la definición y el uso de restricciones de dosis para la protección de los miembros del público en situaciones de exposición planificadas.

5.39. La publicación GSR Part 3 [1] exige que se establezca una dosis efectiva anual de 1 mSv como límite para los miembros del público en situaciones de exposición planificadas. En circunstancias especiales, podría aplicarse un valor más elevado en un solo año si el promedio de la dosis durante cinco años consecutivos no excede de 1 mSv. Las restricciones de dosis deberían seleccionarse de tal modo que estén dentro del rango de 0,1 a <1 mSv en un año y podrían ser distintas para diferentes instalaciones y actividades o escenarios de exposición [7]. El Gobierno o el órgano regulador puede definir un valor genérico de la restricción de dosis para determinados tipos de instalaciones o actividades y una restricción de dosis específica (superior o inferior a la restricción genérica) para un caso particular [9].

5.40. Dado que las restricciones de dosis se refieren a una única fuente, el órgano regulador, al establecer la restricción de dosis específica para una instalación

o actividad, debería tener en cuenta la posible contribución a la dosis para la persona representativa procedente de otras instalaciones o actividades situadas en las proximidades o en el mismo emplazamiento.

5.41. Como parte de un proceso decisorio gubernamental o en una fase temprana de un proceso de autorización, podría utilizarse un valor genérico de restricción de dosis con respecto a diferentes tipos de instalaciones o actividades (por ejemplo, para instalaciones del ciclo del combustible nuclear) [7 y 9] para compararlo con los resultados de la evaluación inicial del impacto radiológico ambiental. Posteriormente, los resultados de la evaluación del impacto radiológico ambiental deberían compararse con la restricción de dosis específica para la instalación o actividad objeto de examen que haya definido el órgano regulador.

5.42. Al considerar los impactos transfronterizos, los criterios utilizados para la evaluación del nivel de protección en otros Estados deberían estar en consonancia con los criterios establecidos en esta guía de seguridad y deberían ser los mismos que los utilizados para el Estado en que se encuentra la instalación o actividad.

EVALUACIÓN PARA LA PROTECCIÓN DEL PÚBLICO CONTRA EXPOSICIONES POTENCIALES

5.43. Las instalaciones y actividades se diseñan, construyen, ponen en servicio, explotan o se realizan, mantienen y clausuran, y se regulan a lo largo de todas estas etapas, con el fin de prevenir accidentes y mitigar sus consecuencias y, de este modo, evitar o minimizar el riesgo de consecuencias radiológicas considerables para el público, como los efectos deterministas y el aumento de los efectos estocásticos, así como los efectos adversos sobre el medio ambiente y los bienes [1, 2, 47 y 48].

5.44. En el marco de la evaluación de la seguridad que ha de realizarse para las instalaciones y actividades [1 y 5], se postulan diversos tipos de accidente con el fin de determinar dispositivos técnicos de seguridad y medidas operacionales para reducir su probabilidad y, en caso de que se produzca un accidente, mitigar sus consecuencias. Esta evaluación de la seguridad permite analizar si se ha logrado una defensa en profundidad adecuada y da una idea de la probabilidad de que se produzcan diversos accidentes y de los posibles términos fuente (si los hay) de tales escenarios de accidente, teniendo en cuenta las medidas de seguridad aplicadas y su eficacia. Con el fin de evaluar prospectivamente las exposiciones potenciales de los miembros del público —tal como se exige en las publicaciones GSR Part 3 [1] y SF-1 [2] y la publicación N° SSR-2/1 (Rev. 1) de la *Colección*

de Normas de Seguridad del OIEA, titulada *Seguridad de las centrales nucleares: Diseño* [47]—, deberían tenerse en cuenta estos escenarios de accidentes, junto con la probabilidad de que dichos accidentes se produzcan.

Enfoque de la evaluación

5.45. La evaluación prospectiva de las exposiciones potenciales debería utilizar estimaciones de las dosis para los miembros del público resultantes de accidentes postulados que se hayan determinado mediante un análisis de la seguridad, o debería determinar una medida del riesgo de efectos sobre la salud²³ basada en la estimación de dichas dosis. En la figura 3 se resumen los elementos de una evaluación de ese tipo. En términos generales, la primera fase debería consistir en determinar los escenarios de exposición potencial²⁴ sobre la base de la evaluación de la seguridad. A continuación, el término fuente conexo para cada escenario de accidente, incluidas las magnitudes y las características físicas y químicas pertinentes de las emisiones que determinarían el comportamiento de los radionucleidos emitidos al medio ambiente, deberían incluirse como datos de entrada para los modelos de dispersión y transferencia ambientales. Seguidamente, la dispersión y la transferencia ambientales deberían estimarse con los modelos pertinentes, teniendo en cuenta las condiciones ambientales definidas, sobre la base de la información meteorológica e hidrológica. Después, deberían determinarse las vías de exposición pertinentes y la persona representativa. Por último, debería obtenerse la dosis estimada, o una medida del riesgo de efectos sobre la salud basada en la dosis estimada, y compararse con los criterios establecidos aplicables.

Determinación y selección de escenarios de exposición potencial

5.46. En el caso de las instalaciones o actividades que, por su diseño, cuentan con un número muy reducido de dispositivos técnicos de seguridad, la determinación y selección de escenarios de exposición potencial suele tener en cuenta accidentes observados con frecuencia, como accidentes industriales típicos o sucesos similares, como incendios y vertidos accidentales.

²³ En el anexo II se explica con más detalle el concepto de “medida del riesgo de efectos sobre la salud” como consecuencia de la exposición a la radiación resultante de accidentes postulados.

²⁴ En esta guía de seguridad, la expresión “escenarios de exposición potencial” incluye las características de todos los sucesos o secuencias de sucesos que pueden dar lugar a un accidente, incluidas las características relativas al término fuente correspondiente y, cuando proceda, su frecuencia o probabilidad.

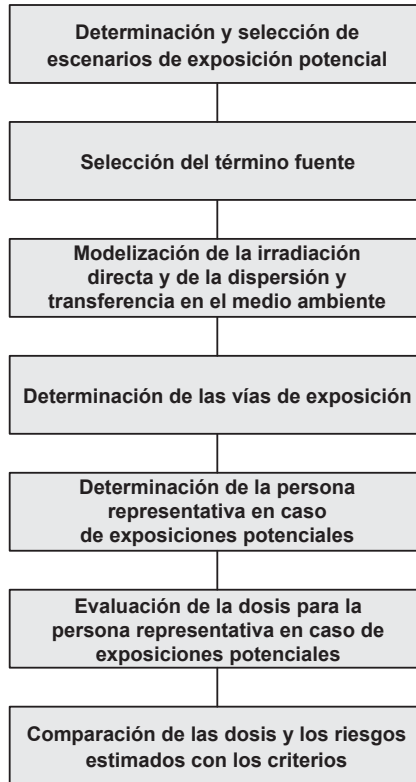


Fig. 3. Componentes de una evaluación en que se tienen en cuenta las exposiciones potenciales. (La figura no pretende constituir un procedimiento detallado paso a paso, sino que se presenta para ilustrar los elementos de la evaluación y facilitar su descripción).

5.47. En el caso de instalaciones con muchos dispositivos técnicos de seguridad, para las que es necesario realizar un análisis complejo a fin de determinar la probabilidad y las características de los sucesos que puedan dar lugar a exposiciones potenciales, puede ser necesario considerar y analizar en detalle un mayor número de escenarios de accidente. Para dichas instalaciones pueden ser necesarias técnicas complejas de evaluación de la seguridad, que combinen métodos deterministas y probabilísticos y, en algunos casos, la opinión de expertos.

Selección del término fuente

5.48. Los tipos y cantidades de radionucleidos y las características físicas y químicas de los radionucleidos emitidos en un accidente pueden

diferir considerablemente de los descargados en condiciones normales de funcionamiento. La estimación del término fuente característico en caso de accidente²⁵ debería considerar los sucesos o la secuencia de sucesos que dan lugar al accidente y las medidas de seguridad en la instalación o actividad destinadas a limitar la magnitud del término fuente.

5.49. En el caso de las instalaciones o actividades con inventarios reducidos y pocos dispositivos técnicos de seguridad —como hospitales que utilizan radioisótopos en medicina, pequeños laboratorios de investigación y aplicaciones con fuentes radiactivas en la industria—, la lista de accidentes observados con frecuencia, cuya descripción figura en el párrafo 5.46, debería evaluarse con técnicas de análisis de la seguridad conservadoras o simples para determinar los términos fuente asociados.

5.50. En el caso de las instalaciones nucleares con grandes inventarios de material radiactivo y dispositivos técnicos de seguridad complejos y en las que las características físicas, químicas o nucleares de los radionucleidos de la instalación puedan dar lugar a una emisión de gran magnitud en caso de accidente, deberían aplicarse siempre técnicas detalladas de análisis de la seguridad para estimar términos fuente potenciales más realistas. En las referencias [48 y 49] puede consultarse más información sobre la estimación del término fuente en caso de accidente.

5.51. Al estimar el término fuente, deberían tenerse en cuenta los procesos físicos y químicos que se produzcan durante la secuencia de accidente, el comportamiento de todo dispositivo de seguridad o los efectos de toda medida de mitigación, y el comportamiento de los radionucleidos dentro de la instalación antes de su emisión al medio ambiente. En caso necesario, debería facilitarse un perfil temporal de la emisión. Por ejemplo, en los accidentes de una central nuclear, inicialmente pueden liberarse a la atmósfera radionucleidos de gases nobles, seguidos en primer lugar por material radiactivo volátil y posteriormente por otros materiales radiactivos en forma de aerosol o partículas. El perfil

²⁵ Los “términos fuente característicos en caso de accidente” son términos fuente que pueden considerarse una representación exhaustiva de las características de la instalación o actividad específica en condiciones de accidente. Los términos fuente en caso de accidente señalados como característicos de la instalación o actividad pueden dividirse en diferentes categorías en función de su frecuencia anual o la probabilidad de que ocurran y su magnitud. Los términos fuente característicos en caso de accidente no incluyen necesariamente el peor de los escenarios posibles, que suele ser un supuesto muy prudente que incluye estimaciones de consecuencias potenciales poco realistas. Para más información, véase el anexo II.

temporal de la liberación puede desarrollarse dividiendo el término fuente en diferentes fases temporales.

5.52. En general, el término fuente debería incluir la composición y magnitudes de los radionucleidos, la forma física (por ejemplo, gas, aerosol) y la forma química, y el punto de emisión y su altura (para una emisión atmosférica) o profundidad bajo la superficie (para una emisión acuática). La velocidad del flujo y la energía térmica asociadas a la emisión también pueden ser necesarias para determinar la altura efectiva del penacho radiactivo.

Modelización de la irradiación directa y de la dispersión y transferencia en el medio ambiente

5.53. Un accidente en una instalación o durante una actividad podría dar lugar a la pérdida del blindaje o a un blindaje inadecuado y, en algunos casos, a una exposición externa considerable de las personas que vivan en las inmediaciones de las instalaciones. En general, las instalaciones de gran tamaño están situadas a una distancia considerable de las zonas residenciales, por lo que la probabilidad de que los miembros del público se vean expuestos a la irradiación directa, incluso en caso de accidente, es baja. Por otro lado, instalaciones como hospitales o pequeños polígonos industriales suelen estar más cerca de zonas residenciales, o pueden estar ocupadas por miembros del público de forma transitoria, si bien las fuentes de radiación situadas en dichas instalaciones son más pequeñas. La contribución de la irradiación directa a las exposiciones potenciales de los miembros del público como consecuencia de escenarios de accidente en todas las instalaciones pertinentes debería examinarse y analizarse utilizando modelos para la evaluación de la exposición externa.

5.54. En el caso de instalaciones y actividades para las que esté justificado realizar evaluaciones sencillas y conservadoras del impacto radiológico, deberían formularse supuestos prudentes sobre las condiciones meteorológicas e hidrológicas que se utilizarán como datos de entrada en los modelos de dispersión. Por ejemplo, puede suponerse una dirección uniforme del viento para la dispersión atmosférica, condiciones de baja dilución atmosférica y precipitación en forma de lluvia en el momento del accidente postulado. Tales supuestos darían resultados conservadores y evitarían la necesidad de obtener datos específicos del emplazamiento. Sin embargo, supuestos que se consideran conservadores para una vía de exposición concreta podrían no serlo para otras vías de exposición (por ejemplo, para la inhalación podría suponerse que todas las emisiones procedentes de la instalación o actividad van a la atmósfera y que no se emiten radionucleidos a los medios acuáticos; sin embargo, este supuesto

podría no ser conservador para vías como la ingestión de alimentos producidos mediante riego). Cuando intervienen diferentes vías, puede que no sea tan fácil determinar *a priori* el supuesto más prudente, por lo que debería evaluarse detenidamente una solución intermedia.

5.55. Si las dosis o los riesgos estimados están por encima de los criterios seleccionados debido al uso de supuestos en que la dosis se ha sobreestimado ampliamente, la evaluación debería perfeccionarse utilizando, siempre que sea posible, modelos y datos más realistas. Por ejemplo, los parámetros meteorológicos, hidrológicos y de otro tipo aplicables deberían basarse en mediciones o estudios locales para reducir el nivel de incertidumbre. El uso de datos meteorológicos e hidrológicos en los modelos ambientales se describe con más detalle en los párrafos 5.18 a 5.25.

5.56. En el caso de instalaciones o actividades nucleares para las que esté justificado realizar evaluaciones complejas y realistas, deberían utilizarse datos meteorológicos e hidrológicos recogidos localmente, durante al menos entre 3 y 10 años, para especificar las condiciones características de dispersión en caso de accidente [41 y 43]. Los datos meteorológicos e hidrológicos específicos del emplazamiento relativos a las instalaciones nucleares suelen recopilarse durante la etapa de evaluación del emplazamiento; en la publicación NS-G-3.2 [43] se ofrecen orientaciones detalladas sobre el tipo y las características de estos datos. También pueden recogerse datos meteorológicos e hidrológicos para utilizarlos en una evaluación prospectiva de las exposiciones en condiciones normales de funcionamiento. Sin embargo, es posible que dicha información no sea lo suficientemente completa como para utilizarla en el análisis de accidentes; por ejemplo, pueden faltar datos sobre el transporte a larga distancia de radionucleidos en la atmósfera o en medios acuáticos, o estos pueden estar disponibles solo en forma de registros mensuales. En tal caso, deberían obtenerse datos más detallados, como datos por hora si es necesario, de los centros meteorológicos o registros regionales pertinentes. También podrían obtenerse datos a partir de modelos numéricos dinámicos de predicción atmosférica o acuática.

5.57. En el caso de las instalaciones nucleares y otras instalaciones que requieran una evaluación compleja, con el fin de reducir los esfuerzos de cálculo, el momento en que se produce el accidente podría seleccionarse mediante técnicas de muestreo estadístico, como el muestreo cíclico o el muestreo estratificado. Alternativamente, debería realizarse una evaluación utilizando un conjunto completo de datos meteorológicos por horas a lo largo de todo un año; en cualquier caso, las condiciones de dispersión seleccionadas resultantes deberían asociarse a una frecuencia de acaecimiento o a una probabilidad. En el caso de las

instalaciones que requieran evaluaciones más sencillas, debería seleccionarse una hora determinada o un pequeño conjunto de horas en que se produzca la emisión; se debería velar por que los datos meteorológicos relativos a la hora seleccionada sean conservadores con respecto al emplazamiento objeto de examen.

5.58. Los modelos de transferencia ambiental deberían ser adecuados para tener en cuenta las condiciones de desequilibrio que suelen asociarse a las emisiones accidentales procedentes de instalaciones y actividades. Además, también puede haber variaciones considerables a corto plazo en el término fuente y en las condiciones meteorológicas supuestas. Si existe la posibilidad de que se produzca una emisión de gran magnitud, deberían utilizarse modelos para estimar la transferencia y la dispersión de radionucleidos en el medio ambiente a distancias más largas. Deberían utilizarse modelos de dispersión aplicables a las emisiones a corto plazo y al transporte a larga distancia de radionucleidos, según convenga, para estimar la dispersión y distribución de radionucleidos en el medio ambiente.

Determinación de las vías de exposición

5.59. Las vías de exposición que contribuyen de manera importante a la dosis procedente de las emisiones accidentales pueden ser muy diferentes de las correspondientes a las condiciones normales de funcionamiento. Por ejemplo, el consumo de leche o verduras frescas inmediatamente después de un accidente en una central nuclear podría ser una vía importante de exposición debido a los radionucleidos de yodo de período corto. Por lo tanto, se debería velar por determinar adecuadamente y representar con modelos las vías de exposición pertinentes.

5.60. A continuación figura una lista de posibles vías de exposición pertinentes para la estimación de exposiciones potenciales debidas a emisiones accidentales de radionucleidos que deberían tenerse en cuenta en la evaluación:

- a) la exposición externa debida a la deposición de radionucleidos en la piel;
- b) la exposición externa debida a la irradiación directa procedente de la fuente;
- c) la exposición externa debida a la irradiación directa procedente del penacho atmosférico (radiactividad de la nube);
- d) la exposición externa debida a la deposición sobre el suelo (irradiación del suelo) u otras superficies;
- e) la inhalación de radionucleidos procedentes del penacho atmosférico;
- f) la inhalación de material resuspendido procedente de depósitos;
- g) la incorporación de radionucleidos debida a la ingestión involuntaria de material radiactivo depositado en el suelo o en otras superficies, y

- h) la incorporación de radionucleidos debida al consumo de alimentos y agua contaminados.

5.61. En función de los supuestos adoptados para la evaluación de los escenarios de accidente, la exposición debida a la ingestión de alimentos contaminados puede reducirse o evitarse mediante la pronta aplicación de medidas protectoras. Las dosis estimadas procedentes de otras vías de exposición, como la inhalación y la exposición externa, también pueden reducirse considerablemente en el supuesto de que se apliquen medidas de protección de emergencia, como la orden de permanecer en espacios interiores, la evacuación y el suministro de profilaxis con yodo. Por ejemplo, el blindaje y el filtrado que proporcionan las viviendas pueden reducir en gran medida las dosis para las personas que permanecen en espacios interiores durante un accidente. En la evaluación deberían indicarse claramente y justificarse debidamente las vías de exposición, los factores de blindaje y los supuestos relativos a las medidas protectoras, de acuerdo con las medidas protectoras efectivas fuera del emplazamiento que se prevé que se adopten para la instalación o actividad objeto de examen.

Determinación de la persona representativa en caso de exposiciones potenciales

5.62. Sobre la base de datos de personas reales o hipotéticas que es probable que estén más altamente expuestas en un accidente, debería determinarse una persona representativa²⁶ para la evaluación de las dosis y los riesgos asociados a las exposiciones potenciales. La persona representativa que se haya determinado para las exposiciones potenciales puede diferir de la persona representativa para las exposiciones en condiciones normales de funcionamiento.

5.63. Pueden determinarse diferentes grupos de población expuesta, en función de las características del accidente o suceso y de la hora del día o de la época del año de la emisión postulada, con arreglo, por ejemplo, a las condiciones meteorológicas o hidrológicas imperantes, a la posible ocupación temporal (p. ej., ocupación diferente durante el día y la noche, existencia de escuelas y campamentos de verano, presencia de trabajadores cerca de la instalación) y a las variaciones estacionales en los hábitos y en el consumo de productos alimenticios.

²⁶ La ICRP utiliza el término “persona representativa” a la hora de tener en cuenta tanto las descargas normales como las emisiones accidentales [44]. A pesar de utilizar el mismo término y de la aplicabilidad de la definición general a ambas situaciones, las características particulares de la persona representativa en cada caso, como su ubicación, hábitos y grupo de edad, pueden ser diferentes.

Un enfoque alternativo puede consistir en considerar los factores de ocupación media, así como los hábitos y productos alimenticios de cada temporada.

5.64. Los puntos finales²⁷ de la evaluación de las exposiciones potenciales podrían diferir, dependiendo del tipo de evaluación y de los criterios especificados. Por ejemplo, en lugar de la especificación de la dosis para la persona representativa como punto final, podría utilizarse como punto final la dosis en un lugar específico (p. ej., la ciudad más cercana de la región), a una distancia fija (p. ej., 1 km, 5 km, 10 km) o a una distancia en la que se supere una determinada dosis proyectada pertinente (p. ej., 100 mSv en los primeros siete días, si dicho valor es el nivel umbral de referencia para las medidas de protección [8]). En algunos Estados, se utiliza como punto final la distribución de las dosis o los riesgos entre poblaciones afectadas más amplias. Si bien existe flexibilidad en las formas de considerar las exposiciones potenciales, y distintos Estados adoptan enfoques diferentes, el uso de puntos finales y criterios particulares debería definirse y justificarse claramente en la reglamentación pertinente o en la evaluación, para evitar malentendidos y la malinterpretación de los resultados.

Evaluación de la dosis para la persona representativa en caso de exposiciones potenciales

5.65. Al considerar las exposiciones potenciales, para las dosis en el rango de los efectos deterministas, debería calcularse la dosis absorbida media en el órgano o tejido, ponderada por una eficacia biológica relativa adecuada para el punto final biológico en cuestión. Para las dosis en el rango de los efectos estocásticos, debería calcularse la dosis efectiva resultante de la suma de la dosis efectiva comprometida procedente de las vías de exposición interna y la dosis efectiva procedente de la exposición externa. La dosis equivalente en determinados órganos (por ejemplo, la tiroides) también puede utilizarse al considerar las exposiciones potenciales.

5.66. Deberían calcularse dosis para diferentes grupos de edad debido a las diferentes condiciones de exposición y a los diferentes efectos radiológicos conexos para los distintos grupos de edad. La experiencia demuestra que los lactantes reciben dosis más elevadas a través de algunas vías de exposición, como la exposición de la glándula tiroides como consecuencia de la incorporación

²⁷ El *Glosario de seguridad del OIEA* [4] define “punto final” como una “medida de protección o seguridad, radiológica o de otro tipo, que es el resultado calculado de un *análisis* o una *evaluación*”. Entre los puntos finales comunes figuran estimaciones de dosis o riesgo y concentraciones ambientales previstas de radionucleidos.

de yodo radiactivo, que podría emitirse en caso de accidente en un reactor nuclear [50].

5.67. Deberían definirse los períodos de tiempo pertinentes a lo largo de los cuales podrían producirse exposiciones y las vías de exposición pertinentes que se utilizarán en la evaluación. Por ejemplo, las dosis estimadas debidas a la inhalación del penacho radiactivo en las primeras 24 horas tras un accidente o las dosis estimadas debidas a la ingestión de hortalizas de hoja verde durante el período inicial de tres meses podrían utilizarse como indicadores del principal impacto radiológico potencial. En otros casos, podrían estimarse dosis durante períodos más largos; por ejemplo, desde el momento en que se produce un accidente hasta un año después. Al comparar las dosis estimadas con los criterios, deberían indicarse claramente los períodos de tiempo y las vías de exposición que se hayan considerado en la evaluación.

Comparación de las dosis y los riesgos estimados con los criterios

5.68. La publicación GSR Part 3 [1] dispone que es necesario evaluar las probabilidades y la magnitud de las exposiciones potenciales y que el órgano regulador establezca restricciones²⁸. A la hora de tener en cuenta exposiciones potenciales en que se utilice como punto final una dosis o una medida del riesgo de efectos sobre la salud, las restricciones establecidas por el órgano regulador deberían ser un criterio de dosis o un criterio de riesgo de referencia, según proceda.

5.69. En el caso de las instalaciones y actividades que requieran una evaluación sencilla basada en escenarios de exposición potencial definidos de forma conservadora (p. ej., instalaciones con inventarios pequeños de material radiactivo y fuentes con escasa capacidad de emisión radiactiva en un accidente), normalmente se estima la dosis para la persona representativa debida a accidentes característicos, y deberían utilizarse dosis de uno a varios milisieverts (mSv), por lo general 5 mSv, como criterios de decisión.

5.70. La dosis estimada para la persona representativa, combinada con la probabilidad determinada en la especificación del término fuente y con la probabilidad determinada por las características de la transferencia ambiental (p. ej., por la fracción de tiempo durante el año en que los vientos soplan

²⁸ El párrafo 3.15 de la publicación GSR Part 3 [1] dispone además que es necesario evaluar el número de personas que puedan verse afectadas por exposiciones potenciales; sin embargo, el alcance de esta guía de seguridad se limita a los efectos sobre las personas.

hacia la ubicación de la persona representativa), puede transformarse en una indicación del riesgo de efectos sobre la salud mediante coeficientes de riesgo proporcionados, por ejemplo, por la ICRP [51]. El uso de una indicación del riesgo de efectos sobre la salud debería aplicarse con arreglo a las prácticas y reglamentación nacionales. Tales indicaciones del riesgo de efectos sobre la salud deberían utilizarse solamente en el marco de una evaluación prospectiva del impacto radiológico ambiental, tal como se describe en esta guía de seguridad, y no para determinar si un efecto manifiesto sobre la salud de una persona puede atribuirse a la exposición radiológica. El anexo II ofrece más información sobre la estimación del riesgo.

5.71. El Gobierno o el órgano regulador ha de establecer o aprobar restricciones de riesgos [1], según proceda, a la hora de tener en cuenta las exposiciones potenciales. Podrían establecerse restricciones del riesgo sobre la base de las recomendaciones del Grupo Internacional Asesor en Seguridad Nuclear [52] o de la ICRP [3 y 51]. En el apéndice se ofrece orientación para establecer criterios de riesgo con respecto al examen de las exposiciones potenciales. En el anexo II se ofrece más información sobre la definición de una medida del riesgo y el uso de restricciones del riesgo, y en la publicación GSG-8 [7] se ofrece orientación al respecto.

5.72. Cuando se realiza una evaluación de las exposiciones potenciales para una instalación nuclear, y dicha evaluación emplea escenarios de accidentes característicos definidos, normalmente se estima la dosis correspondiente a un conjunto reducido de accidentes. En tal caso, los criterios para decidir si el riesgo de las exposiciones potenciales es aceptable deberían definirse en relación con la dosis (p. ej., podría utilizarse una dosis en el rango de 10 a 100 mSv, ya que son valores que activan la aplicación de determinadas medidas protectoras [8]). Podrían definirse diferentes valores para los criterios de dosis dentro de ese rango, en función de las diferentes frecuencias anuales de esos escenarios de accidentes característicos: para los accidentes con frecuencias estimadas más altas, los criterios de dosis deberían ser más bajos que para los accidentes con frecuencias muy bajas. Aunque los puntos finales y los criterios de este tipo de evaluación se expresan en relación con las dosis, puesto que las frecuencias de accidentes intervienen en la fijación de los criterios, existe una noción implícita de riesgo y los resultados pueden relacionarse con los criterios establecidos en el apéndice.

5.73. Las instalaciones nucleares que cuentan con numerosos dispositivos técnicos de seguridad también pueden utilizar técnicas complejas de evaluación de la seguridad que combinen métodos deterministas y probabilísticos y la opinión de expertos para evaluar la probabilidad y la magnitud de las dosis para

la persona representativa, lo cual puede convertirse en una indicación del riesgo y compararse con un criterio de riesgo. El órgano regulador debería tener en cuenta los criterios descritos en el apéndice para definir los criterios de riesgo pertinentes para este enfoque. En el anexo II se describen los aspectos básicos de estos tipos de evaluación de las exposiciones potenciales.

5.74. Otra opción puede ser expresar los criterios de manera cualitativa, en función de si una determinada consecuencia para el público sería inaceptable. Por ejemplo, un criterio podría ser que no serían aceptables medidas protectoras muy perturbadoras, como una evacuación o reubicación a gran escala y prolongada, como resultado de un escenario de accidente potencial especificado para la instalación o actividad²⁹. Aunque se trata, en principio, de un criterio cualitativo, la necesidad de tales medidas protectoras debería determinarse utilizando estimaciones de las dosis proyectadas (o magnitudes operacionales conexas) y comparando estas estimaciones con los criterios de decisión en respuesta a emergencias, por ejemplo, los niveles de referencia proporcionados en la publicación GSG-2 [8]. Si se utiliza este enfoque, el órgano regulador debería definir los criterios de decisión relativos a la aplicación de las medidas protectoras que se utilizarán para la evaluación de las exposiciones potenciales en consonancia con los requisitos establecidos en la publicación GSR Part 7 [6].

5.75. Al considerar los impactos transfronterizos, los criterios utilizados para el examen de las exposiciones potenciales en otros Estados deberían estar en consonancia con los criterios establecidos en la presente guía de seguridad y, en principio, deberían ser los mismos que los utilizados en el Estado en que se encuentre la instalación o actividad.

CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA EVALUACIÓN DE LA PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

5.76. El objetivo general de la protección del medio ambiente establecido por la ICRP es velar por el mantenimiento de la diversidad biológica y garantizar la conservación de las especies y la salud de los hábitats naturales, las comunidades y los ecosistemas [3 y 53]. Ello concuerda con la publicación SF-1 [2] (véase

²⁹ Este enfoque es coherente con los requisitos del OIEA para el diseño de centrales nucleares en caso de accidentes con consecuencias importantes fuera del emplazamiento, respecto a lo cual solo sean aceptables medidas protectoras de alcance limitado en el tiempo y las áreas de aplicación y se evite o reduzca al mínimo la contaminación fuera del emplazamiento [47].

el párr. 3.7). Las consideraciones relativas a la protección del medio ambiente pueden diferir de un Estado a otro y deberían estar sujetas a la reglamentación y directrices de las autoridades nacionales competentes, incluidos los órganos reguladores.

5.77. En los párrafos 1.6 a 1.19 de la publicación GSR Part 3 [1] se describe el sistema de protección y seguridad, que tiene por objeto evaluar, gestionar y controlar la exposición de las personas a las radiaciones y que, en general, prevé una protección adecuada del medio ambiente contra los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes. Los párrafos 1.32 a 1.35 de la publicación GSR Part 3 [1], relativos a la protección del medio ambiente, reconocen que algunos reglamentos nacionales exigen la demostración explícita (en lugar de la suposición) de que se protege el medio ambiente. El párrafo 1.34 de la publicación GSR Part 3 [1] también señala que “la evaluación de impactos en el medio ambiente se debe considerar de forma integrada junto con otras características del sistema de protección y seguridad” y que “el enfoque de la protección de las personas y el medio ambiente no se limita a la prevención de los efectos radiológicos en los seres humanos y en otras especies”.

5.78. Algunos Estados, sobre la base de la experiencia o el análisis simplificado, pueden considerar que no es necesaria una evaluación específica de los efectos en el medio ambiente. En estos casos, el órgano regulador puede decidir que no es necesario que la evaluación del impacto radiológico ambiental tenga en cuenta de forma explícita las exposiciones de la flora y la fauna.

5.79. Otros Estados pueden considerar que es necesario que en las evaluaciones del impacto radiológico ambiental de determinadas instalaciones y actividades se incluyan la estimación y el control de las exposiciones de la flora y la fauna. En cualquier caso, debería aplicarse el requisito del enfoque graduado [1] para que el esfuerzo destinado a realizar la evaluación sea proporcional al nivel de riesgo previsto.

5.80. Dado que se prevé que el riesgo radiológico para las poblaciones de flora y fauna derivado del funcionamiento de las instalaciones y la realización de actividades en condiciones normales sea bajo, los métodos utilizados para evaluar el impacto sobre la flora y la fauna deberían ser prácticos y sencillos, deberían basarse en los conocimientos científicos sobre los efectos de la radiación, y no deberían imponer una carga innecesaria al explotador o al órgano regulador. La ICRP [53 y 54] ofrece un enfoque práctico para evaluar y gestionar los efectos sobre la flora y la fauna debidos a las emisiones radiactivas al medio ambiente.

5.81. Con respecto a los marcos nacionales o internacionales en que se requiera tener en cuenta de manera explícita la protección de la flora y la fauna³⁰, el anexo I de la presente guía de seguridad ofrece un ejemplo de metodología para evaluar el impacto sobre la flora y la fauna en condiciones normales de funcionamiento³¹, sobre la base del enfoque de la ICRP para la protección de diferentes ecosistemas en el medio ambiente [53 y 54].

6. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA VARIABILIDAD Y LA INCERTIDUMBRE EN LAS EVALUACIONES DEL IMPACTO RADIOLÓGICO AMBIENTAL

6.1. La incertidumbre refleja el estado de los conocimientos sobre el sistema que se investiga. En una evaluación del impacto radiológico ambiental, la incertidumbre hace referencia a la exactitud con la que pueden estimarse las dosis o el riesgo. Las principales fuentes de incertidumbre se derivan del conocimiento incompleto de las condiciones de exposición de la persona representativa y de la variabilidad de los parámetros de los modelos. Esto último incluye variaciones tanto en los procesos de transporte de radionucleidos debido a la dispersión atmosférica y acuática como en la transferencia de radionucleidos entre los distintos compartimentos ambientales y, en el caso de los seres humanos, variaciones en la ubicación y los hábitos de vida de las personas dentro de un grupo (por ejemplo, ingesta de alimentos, tiempo de permanencia en distintos lugares). Otras fuentes de incertidumbre pueden estar relacionadas con el término fuente y la demografía. Al definir la metodología, incluidos los criterios de decisión, el órgano regulador o el solicitante deberían tener en cuenta los aspectos relacionados con la variabilidad y la incertidumbre, según proceda.

6.2. El nivel de incertidumbre en una evaluación prospectiva del impacto radiológico ambiental debería permitir llegar a una conclusión sobre si las dosis

³⁰ Por ejemplo, el Convenio sobre la Prevención de la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y otras Materias [55] exige la evaluación explícita del impacto radiológico sobre la flora y la fauna marinas resultante del vertido de materiales que contengan radionucleidos. El OIEA ha desarrollado un procedimiento de evaluación radiológica para tal fin [56].

³¹ No se tienen en cuenta las exposiciones potenciales de la flora y la fauna, ya que no son susceptibles de control reglamentario en condiciones de accidente.

reales para los miembros del público superarían o no los límites de dosis o las restricciones de dosis establecidos por el órgano regulador nacional. Cuando no se disponga de información o datos suficientes, deberían utilizarse supuestos conservadores [44]. Sin embargo, el uso de un gran número de supuestos conservadores puede dar lugar a una sobreestimación poco realista de las dosis, por lo que debería evitarse [44].

6.3. Los datos sobre hábitos y las características del entorno para estimar dosis para la persona representativa deberían elegirse sobre la base de supuestos razonablemente conservadores y plausibles. En su Publicación 101 [44], la ICRP examina las características de un enfoque que utiliza valores únicos para parámetros y datos sobre hábitos pertinentes para la evaluación de la dosis. Para estas evaluaciones, en algunos casos podrían utilizarse percentiles altos en la distribución de los datos sobre hábitos (por ejemplo, el percentil 95), aunque no es razonable suponer percentiles altos en los datos sobre hábitos para todas las vías de exposición. Por defecto o para una evaluación inicial, pueden tomarse los valores únicos recomendados para los parámetros de transferencia ambiental de la bibliografía disponible [10 a 12], o podrían utilizarse promedios de valores medidos, cuando se disponga de ellos. La dosis resultante al aplicar este enfoque debería compararse directamente con los criterios radiológicos.

6.4. Otro enfoque descrito en la Publicación 101 de la ICRP [44] es el uso de distribuciones de frecuencias de los parámetros de los modelos en combinación con métodos estadísticos, como el método de Montecarlo, como base para la evaluación de la dosis, lo cual dará lugar a una distribución de la dosis estimada. Para las evaluaciones en que se vaya a utilizar una distribución de los datos sobre hábitos, el enfoque debería consistir en comparar un percentil alto (por ejemplo, el percentil 95) de la distribución de dosis resultante con los criterios de dosis establecidos por el órgano regulador. En los casos en que se carezca de datos sobre la variabilidad de los parámetros de transferencia, no debería aplicarse de forma sistemática el uso de distribuciones de frecuencias, ya que dicho uso no siempre conduce a resultados conservadores.

6.5. La existencia de variabilidad e incertidumbre en una evaluación del impacto radiológico ambiental no debería implicar necesariamente la necesidad de realizar estudios muy complejos y, en ocasiones, no concluyentes. El solicitante y el órgano regulador deberían ser conscientes de las limitaciones de los resultados de este tipo de evaluación y proceder con la debida cautela a la hora de seleccionar los modelos y parámetros y de extraer conclusiones de los resultados, según convenga, sobre todo cuando los resultados estén muy próximos a los criterios de decisión.

6.6. Es necesario establecer programas de monitorización de las fuentes y de monitorización del medio ambiente una vez que la instalación esté en funcionamiento o se esté llevando a cabo la actividad [1]. Dichos programas son necesarios para comprobar si las descargas cumplen los límites autorizados y si los modelos y datos utilizados son adecuados. Los programas de monitorización de las fuentes y del medio ambiente contribuyen a reducir las incertidumbres de las evaluaciones del impacto radiológico ambiental. En la publicación RS-G-1.8 [18] se ofrece orientación sobre los programas de monitorización del medio ambiente y monitorización de las fuentes con fines de protección radiológica.

6.7. Deberían realizarse estudios de sensibilidad para determinar las fuentes de incertidumbre más importantes y los procesos que más contribuyen a la incertidumbre. Sobre esta base, pueden llevarse a cabo nuevas investigaciones, modelizaciones o recogida de datos experimentales, si se considera necesario reducir el nivel de incertidumbre.

6.8. Abordar la variabilidad y la incertidumbre en la evaluación de las exposiciones potenciales es más complejo. Los motivos son los siguientes:

- a) Los escenarios seleccionados para la evaluación, incluidos los términos fuente y las condiciones ambientales en el momento del accidente, pueden no ser representativos de lo que realmente podría ocurrir.
- b) La probabilidad o frecuencia de los escenarios de accidente que se hayan supuesto en la evaluación puede ser muy incierta. El análisis determinista conservador trata de evitar el problema suponiendo ciertos fallos de sistema y sucesos iniciadores representativos delimitantes. Si, por ejemplo, se utilizan técnicas de análisis probabilístico de la seguridad para estimar las frecuencias de accidentes, estas frecuencias se determinan combinando muchos sucesos o probabilidades de fallo, teniendo cada uno de ellos su propia incertidumbre.
- c) A diferencia de las estimaciones de las exposiciones resultantes de las descargas en condiciones normales de funcionamiento, que suelen producirse de forma más o menos continua y pueden promediarse a lo largo de un año para nivelar las fluctuaciones, las exposiciones potenciales normalmente variarán a lo largo del tiempo y el impacto dependerá de las condiciones reales de exposición en el momento del accidente (por ejemplo, las condiciones meteorológicas y la ubicación de los miembros del público).
- d) A diferencia de las estimaciones de las exposiciones resultantes de descargas en condiciones normales de funcionamiento, que pueden validarse retrospectivamente mediante los programas de monitorización ambiental

establecidos en la etapa operacional, dicha validación retrospectiva no es posible en el caso de las exposiciones potenciales.

6.9. Deberían tenerse en cuenta las incertidumbres a la hora de definir y utilizar los criterios para tomar decisiones sobre la aceptabilidad de las exposiciones potenciales de una instalación o una actividad. Los criterios utilizados para las exposiciones potenciales deberían expresarse preferentemente en rangos o en órdenes de magnitud (véase el apéndice).

Apéndice

CRITERIOS DE RIESGO PARA LA EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN POTENCIAL DEL PÚBLICO

A.1. En el presente apéndice figuran los criterios establecidos por las organizaciones internacionales competentes, que el órgano regulador debería utilizar como orientación para definir los criterios nacionales. Los criterios establecidos en el presente apéndice se refieren al riesgo de efectos sobre la salud para los distintos miembros del público como consecuencia de exposiciones potenciales a la radiación. Quedan fuera del ámbito de esta guía de seguridad otros tipos de efectos derivados de accidentes en que se produzcan grandes emisiones al medio ambiente, por ejemplo, de carácter social, económico y medioambiental. En el anexo II se presentan más consideraciones e información sobre las definiciones de riesgo y la evaluación de las exposiciones potenciales.

GRUPO INTERNACIONAL ASESOR EN SEGURIDAD NUCLEAR

A.2. En 1995, el Grupo Internacional Asesor en Seguridad Nuclear examinó las metas de seguridad para la exposición potencial [52]. El párrafo 42 de la referencia [52] dispone que con respecto al riesgo individual para un miembro del público “parece conveniente que el riesgo de exposición potencial para las personas del público, expresado como la probabilidad anual de muertes atribuible a una sola instalación, no exceda de 10^{-5} ”. El párrafo 45 de la referencia [52] también dispone que “parece razonable esperar que los accidentes que requieran contramedidas simples de carácter local tengan una probabilidad anual que no supere aproximadamente 10^{-4} ”. En estos tipos de accidente, se prevé que los miembros del público más altamente expuestos reciban dosis en el rango de 10 a 100 mSv. En el caso de accidentes más graves en que los miembros del público más altamente expuestos puedan recibir una dosis de 1 Sv, el párrafo 46 de la referencia [52] dispone que es probable que, debido a las consecuencias de carácter social, “se requiera una probabilidad anual de un accidente de ese tipo de 10^{-5} ”.

A.3. En 1999, el Grupo Internacional Asesor en Seguridad Nuclear también facilitó metas de riesgo para las centrales nucleares [57]. La referencia [57] recomienda que la frecuencia de aparición de daños graves en el núcleo debería ser inferior a 10^{-4} sucesos por año de explotación para las centrales nucleares existentes y sugiere que la aplicación de todos los principios de seguridad podría

contribuir a un objetivo mejorado no superior a 10^{-5} sucesos al año para las centrales nucleares nuevas. La referencia [57] también indica que las medidas de gestión de accidentes severos y las medidas de mitigación deberían reducir, en un factor de al menos diez, la probabilidad de que se produzcan grandes emisiones radiactivas fuera del emplazamiento que requieran una respuesta fuera del emplazamiento a corto plazo. En la referencia [52] se dispone que estas metas corresponderían a un riesgo individual de muerte para un miembro del público muy inferior a 10^{-5} por año de explotación de una central existente o 10^{-6} por año de explotación de una central nueva.

COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

A.4. La ICRP recomienda que, para la evaluación de exposiciones potenciales, las restricciones del riesgo relacionadas con una fuente deberían ser del mismo orden de magnitud que el riesgo para la salud que impliquen las restricciones de dosis para la misma fuente (Publicación 103 de la ICRP, publicada en 2007 [3]). La Publicación 64 de la ICRP, publicada en 1993 [51], dispone lo siguiente:

“Uno de los procedimientos para aplicar restricciones relacionadas con la fuente a sucesos probabilísticos consiste en expresar la probabilidad de una secuencia de sucesos como una función de la dosis que se recibirá en caso de que la secuencia se produzca realmente. Dicha restricción expresaría la máxima probabilidad que puede permitirse con respecto a secuencias que superen una determinada magnitud de la dosis”.

A.5. La Publicación 64 de la ICRP [51] proporciona un rango de probabilidades en un año que puede utilizarse para definir las restricciones del riesgo; la máxima probabilidad de un accidente severo con algunas consecuencias deterministas o de que se produzcan efectos graves para la salud debería ser de entre 10^{-6} y 10^{-5} por año. El esquema completo se reproduce en el cuadro 2. En el caso de los sistemas complejos, deberían agruparse las secuencias de sucesos similares combinando sus probabilidades y tomando la peor consecuencia de cualquier secuencia individual para representar al grupo en su conjunto. La referencia [51] indica que los valores del cuadro 2 pretenden ilustrar los tipos de restricciones que podrían imponerse sobre la base de la experiencia adquirida, teniendo en cuenta los beneficios derivados de la práctica concreta. Además, señala que los valores del cuadro 2 también podrían imponerse como restricciones provisionales a falta de experiencia operacional, quedando sujetos a revisión a medida que se adquiera experiencia, y en tales casos las restricciones pueden considerarse

límites superiores. La referencia [51] subraya que estas restricciones se refieren a la exposición potencial de una persona, y no de una población en su conjunto.

CUADRO 2. RANGO DE PROBABILIDADES EN UN AÑO A PARTIR DEL CUAL PUEDE SELECCIONARSE UNA RESTRICCIÓN DEL RIESGO [51]

| Impacto | Rango de probabilidad |
|--|-----------------------|
| Secuencias de sucesos que se tratan como exposición normal | 10^{-1} – 10^{-2} |
| Secuencias de sucesos que dan lugar a efectos estocásticos únicamente, pero por encima de los límites de dosis | 10^{-2} – 10^{-5} |
| Secuencias de sucesos que dan lugar a dosis en que algunos efectos radiológicos son deterministas | 10^{-5} – 10^{-6} |
| Secuencias de sucesos que dan lugar a dosis en que es probable que se produzca la muerte | $<10^{-6}$ |

REFERENCIAS

- [1] AGENCIA PARA LA ENERGÍA NUCLEAR DE LA OCDE, COMISIÓN EUROPEA, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE, *Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GSR Part 3*, OIEA, Viena, 2016.
- [2] AGENCIA PARA LA ENERGÍA NUCLEAR DE LA OCDE, COMUNIDAD EUROPEA DE LA ENERGÍA ATÓMICA, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO, ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE, *Principios fundamentales de seguridad, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° SF-1*, OIEA, Viena, 2007.
- [3] COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA, *Las Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica*, Publicación 103, editada por la Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR) con la autorización de la ICRP, Senda Editorial S.A., Madrid, 2008.
- [4] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, *Glosario de seguridad del OIEA: Terminología empleada en seguridad nuclear y protección radiológica, edición de 2018*, OIEA, Viena, 2021.
- [5] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, *Evaluación de la seguridad de las instalaciones y actividades, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GSR Part 4 (Rev. 1)*, OIEA, Viena, 2018.
- [6] AGENCIA PARA LA ENERGÍA NUCLEAR DE LA OCDE, COMISIÓN PREPARATORIA DE LA ORGANIZACIÓN DEL TRATADO DE PROHIBICIÓN COMPLETA DE LOS ENSAYOS NUCLEARES, OFICINA DE COORDINACIÓN DE ASUNTOS HUMANITARIOS DE LAS NACIONES UNIDAS, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL, ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE POLICÍA CRIMINAL (INTERPOL), ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO, ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL, ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, PROGRAMA DE LAS

- NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE, *Preparación y respuesta para casos de emergencia nuclear o radiológica, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GSR Part 7*, OIEA, Viena, 2018.
- [7] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE, *Protección radiológica del público y el medio ambiente, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GSG-8*, OIEA, Viena, 2022.
- [8] OFICINA INTERNACIONAL DEL TRABAJO, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, *Criterios aplicables a la preparación y respuesta a situaciones de emergencia nuclear o radiológica, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GSG-2*, OIEA, Viena, 2013.
- [9] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, *Regulatory Control of Radioactive Discharges to the Environment*, IAEA Safety Standards Series No. GSG-9, IAEA, Vienna (2018).
- [10] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment*, Safety Reports Series No. 19, IAEA, Vienna (2001). (Se está preparando una versión revisada de esta publicación).
- [11] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments*, Technical Reports Series No. 472, IAEA, Vienna (2010).
- [12] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Sediment Distribution Coefficients and Concentration Factors for Biota in the Marine Environment*, Technical Reports Series No. 422, IAEA, Vienna (2004).
- [13] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *The Safety Case and Safety Assessment for the Predisposal Management of Radioactive Waste*, IAEA Safety Standards Series No. GSG-3, IAEA, Vienna (2013).
- [14] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, *Evaluación de la seguridad para la clausura de instalaciones que utilizan materiales radiactivos, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° WS-G-5.2*, OIEA, Viena, 2012.
- [15] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, *Disposición final de desechos radiactivos, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° SSR-5*, OIEA, Viena, 2012.
- [16] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste*, IAEA Safety Standards Series No. SSG-23, IAEA, Vienna (2012).
- [17] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, *Programas de protección radiológica para el transporte de materiales radiactivos, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° TS-G-1.3*, OIEA, Viena, 2011.
- [18] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, *Monitorización del medio ambiente y de las fuentes de radiación con fines de protección radiológica, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° RS-G-1.8*, OIEA, Viena, 2010.

- [19] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Programmes and Systems for Source and Environmental Radiation Monitoring, Safety Reports Series No. 64, IAEA, Vienna (2010).
- [20] OFICINA INTERNACIONAL DEL TRABAJO, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, *Protección radiológica ocupacional, Colección de Normas de Seguridad del OIEA* N° GSG-7, OIEA, Viena, 2022.
- [21] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, OFICINA INTERNACIONAL DEL TRABAJO, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, *Protección y seguridad radiológicas en los usos médicos de la radiación ionizante, Colección de Normas de Seguridad del OIEA* N° SSG-46, OIEA, Viena, 2022.
- [22] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Establishing the Safety Infrastructure for a Nuclear Power Programme, IAEA Safety Standards Series No. SSG-16, IAEA, Vienna (2012).
- [23] *Convenio sobre la Evaluación del Impacto Ambiental en un Contexto Transfronterizo (Convenio de Espoo)*, Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa, Ginebra, 1991.
- [24] *Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar de 10 de diciembre de 1982*, Naciones Unidas, Nueva York, 1982.
- [25] *Convención sobre el Acceso a la Información, la Participación del Público en la Toma de Decisiones y el Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales (Convención de Aarhus)*, Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa, Ginebra, 1998.
- [26] *Directiva 2011/92/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de diciembre de 2011, relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente*, Comisión Europea, Bruselas, 2011.
- [27] The National Environmental Policy Act, 42 U.S.C. § 4321, Gobierno de los Estados Unidos de América, Washington D. C. (1969).
- [28] *Ley de la República Popular China relativa a la evaluación del impacto ambiental*, Orden n° 77 del Presidente de la República Popular China, Gobierno de China, Beijing, 2003.
- [29] *Ley General del Ambiente*, Ley n° 25.675, Gobierno de la Argentina, Buenos Aires, 2002.
- [30] ANZECC WORKING GROUP ON NATIONAL ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT, Guidelines and Criteria for Determining the Need for and Level of Environmental Impact Assessment, Australian and New Zealand Environment and Conservation Council, Canberra (1996).
- [31] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Managing Environmental Impact Assessment for Construction and Operation in New Nuclear Power Programmes, IAEA Nuclear Energy Series, NG-T-3.11, IAEA, Vienna (2014).
- [32] *Tratado Constitutivo de la Comunidad Europea de la Energía Atómica (Tratado Euratom)*, Comisión Europea, Bruselas, 1957.
- [33] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGIA ATÓMICA, *Proceso de concesión de licencias para establecimientos nucleares, Colección de Normas de Seguridad del OIEA* N° SSG-12, OIEA, Viena, 2011.

- [34] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Decommissioning of Nuclear Power Plants, Research Reactors and Other Nuclear Fuel Cycle Facilities, IAEA Safety Standards Series No. SSG-47, IAEA, Vienna (2018).
- [35] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, *Liberación de los emplazamientos del control reglamentario después de la finalización de las prácticas, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° WS-G-5.1*, OIEA, Viena, 2010.
- [36] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, *Marco gubernamental, jurídico y regulador para la seguridad, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GSR Part 1 (Rev. 1)*, OIEA, Viena, 2017.
- [37] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Communication and Consultation with Interested Parties by the Regulatory Body, IAEA Safety Standards Series No. GSG-6, IAEA, Vienna (2017).
- [38] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Environmental Modelling for Radiation Safety (EMRAS) — A Summary Report of the Results of the EMRAS Programme (2003–2007), IAEA-TECDOC-1678, IAEA, Vienna (2012).
- [39] UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION, Sources and Effects of Ionizing Radiation, UNSCEAR 1993 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes, United Nations, New York (1993).
- [40] UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION, Sources and Effects of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes, Vol. 1: Sources, United Nations, New York (2000).
- [41] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, *Evaluación del emplazamiento de instalaciones nucleares, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° NS-R-3 (Rev. 1)*, OIEA, Viena, 2017. (Se está preparando una versión revisada de esta publicación).
- [42] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, Meteorological and Hydrological Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations, IAEA Safety Standards Series No. SSG-18, IAEA, Vienna (2011).
- [43] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Dispersion of Radioactive Material in Air and Water and Consideration of Population Distribution in Site Evaluation for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-3.2, IAEA, Vienna (2002).
- [44] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Assessing Dose of the Representative Person for the Purpose of Radiation Protection of the Public and The Optimisation of Radiological Protection: Broadening the Process, Publication 101, Elsevier, Oxford (2006).
- [45] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60, Publication 119, Elsevier, Oxford (2012).
- [46] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Conversion Coefficients for Radiological Protection Quantities for External Radiation Exposures, Publication 116, Elsevier, Oxford (2010).

- [47] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, *Seguridad de las centrales nucleares: Diseño, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° SSR-2/1 (Rev. 1)*, OIEA, Viena, 2017.
- [48] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Derivation of the Source Term and Analysis of the Radiological Consequences of Research Reactor Accidents*, Safety Reports Series No. 53, IAEA, Vienna (2008).
- [49] NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, *Accident Source Terms for Light-Water Nuclear Power Plants*, Rep. NUREG-1465, NRC, Washington, DC (1995).
- [50] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and Their Remediation: Twenty Years of Experience*, Report of the Chernobyl Forum Expert Group 'Environment', Radiological Assessment Report Series No. 8, IAEA, Vienna (2006).
- [51] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, *Protection from Potential Exposure — A Conceptual Framework*, Publication 64, Pergamon Press, Oxford (1993).
- [52] GRUPO INTERNACIONAL ASESOR EN SEGURIDAD NUCLEAR, *La exposición potencial en seguridad nuclear: Informe del Grupo Internacional Asesor en Seguridad Nuclear*, INSAG-9, OIEA, Viena, 1997.
- [53] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, *Environmental Protection: The Concept and Use of Reference Animals and Plants*, Publication 108, Elsevier, Oxford (2008).
- [54] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, *Protection of the Environment under Different Exposure Situations*, Publication 124, Sage Publishing, London (2014).
- [55] *Convenio sobre la Prevención de la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y otras Materias (Convenio de Londres)*, Organización Marítima Internacional, Londres, 1972.
- [56] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Determining the Suitability of Materials for Disposal at Sea under the London Convention 1972 and London Protocol 1996: A Radiological Assessment Procedure*, IAEA-TECDOC-1759, IAEA, Vienna (2015).
- [57] INTERNATIONAL NUCLEAR SAFETY ADVISORY GROUP, *Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants*, 75-INSAG-3 Rev. 1: A Report by the International Nuclear Safety Advisory Group, INSAG-12, IAEA, Vienna (1999).

Anexo I

EJEMPLO DE METODOLOGÍA GENÉRICA PARA EVALUAR LAS EXPOSICIONES DE LA FLORA Y LA FAUNA DURANTE EL FUNCIONAMIENTO NORMAL DE INSTALACIONES Y ACTIVIDADES

I-1. El presente anexo muestra, a modo de ejemplo, una metodología genérica para evaluar y controlar la exposición a la radiación de la flora y la fauna debida a descargas durante el funcionamiento normal de las instalaciones y la realización de actividades. La metodología que aquí se presenta se basa en el enfoque de la ICRP para la protección del medio ambiente [I-1 y I-2]; en el presente anexo también se describen los aspectos clave del enfoque de la ICRP y la base de esta metodología.

I-2. La necesidad de evaluar de manera explícita la protección de la flora y la fauna está sujeta a la reglamentación nacional o internacional aplicable y depende de las características de la instalación o actividad y de las condiciones medioambientales objeto de examen. La metodología descrita en el presente anexo puede utilizarse, si se considera necesario, como complemento de la evaluación de las exposiciones de los seres humanos, descrita en la sección 5 de la presente guía de seguridad, en el marco de una evaluación prospectiva del impacto radiológico ambiental.

I-3. A menudo, en el caso de actividades o instalaciones que requieran una evaluación simple del impacto radiológico ambiental, no se considera necesario el examen explícito de las exposiciones de la flora y la fauna, sobre la base de que no se prevé un impacto radiológico considerable en el medio ambiente que tenga efectos sobre las poblaciones de flora y fauna, debido, por ejemplo, al inventario limitado de radionucleidos en la instalación o a las características intrínsecamente seguras de la instalación o actividad.

I-4. En el caso de las instalaciones y actividades para las que se requiera una evaluación del impacto radiológico ambiental más compleja, por ejemplo para las instalaciones nucleares y para la extracción y el procesamiento de uranio, el Gobierno o el órgano regulador pueden considerar necesario examinar de manera explícita la exposición a la radiación de la flora y la fauna, en función de la reglamentación nacional o internacional aplicable. En estos casos, puede utilizarse el enfoque de la ICRP para evaluar y controlar los efectos de la radiación en la flora y la fauna [I-1 y I-2]; dicho enfoque es coherente y compatible con

enfoques similares utilizados en algunos Estados [I-3 a I-5]. El enfoque de la ICRP utiliza los conceptos de “animales y plantas de referencia” y “organismo representativo”, y criterios en forma de “niveles de referencia derivados”. Estos conceptos y criterios se describen a continuación.

I-5. La metodología que figura en el presente anexo es de carácter genérico. Para la mayoría de las instalaciones y actividades en condiciones normales de funcionamiento y para la mayoría de las condiciones ambientales, una evaluación genérica como la descrita en el presente anexo sería suficiente para demostrar el nivel de protección radiológica de la flora y la fauna. Sin embargo, un planteamiento genérico puede no ser adecuado para la evaluación del impacto sobre la flora y la fauna en circunstancias particulares, por ejemplo cuando se trata de especies protegidas o en peligro de extinción. Para estos casos, puede ser necesaria una evaluación más específica.

I-6. El órgano regulador u otra autoridad competente podría determinar las situaciones medioambientales específicas que justifiquen una consideración especial, distintas de las situaciones más genéricas que figuran en el presente anexo. Los supuestos y tipos de evaluación para las situaciones que requieran una consideración especial se determinarían de común acuerdo con el solicitante, el órgano regulador y otras autoridades con responsabilidades en materia de protección ambiental. En cualquier caso, los métodos descritos en el presente anexo podrían utilizarse como herramienta de cribado para esas circunstancias particulares.

ASPECTOS CLAVE DEL ENFOQUE DE LA ICRP PARA LA PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

I-7. La ICRP recomienda que los objetivos de la protección ambiental deberían ser evitar o reducir la frecuencia de los efectos de la radiación perjudiciales para la biota hasta un nivel en que tendrían un impacto insignificante para el mantenimiento de la diversidad biológica, la conservación de las especies, o la salud y el estado de los hábitats naturales, las comunidades y los ecosistemas [I-1, I-2 y I-6]. Esta recomendación está en consonancia con el párrafo 3.28 de la publicación N° SF-1 de la *Colección de Normas de Seguridad del OIEA*, titulada *Principios fundamentales de seguridad* [I-7], que dice lo siguiente:

“Las medidas que se han adoptado para proteger el medio ambiente han tenido por finalidad, en general, proteger los ecosistemas contra la

exposición a radiaciones que pudieran tener consecuencias adversas para las poblaciones de una especie (no para los organismos individualmente)”.

I-8. Debido a la complejidad de las interacciones entre las distintas especies, es muy difícil modelizar y predecir los efectos radiológicos en los ecosistemas expuestos a incrementos muy pequeños de los niveles de radiación en el medio ambiente. Sin embargo, podrían extrapolarse conclusiones sobre los impactos radiológicos en poblaciones de especies y ecosistemas, que pueden aplicarse prospectivamente para la gestión de fuentes radiactivas en situaciones de exposición planificadas, a partir de la evaluación de las exposiciones de un número reducido de organismos individuales de una especie, utilizados como organismos de referencia [I-6].

I-9. Para ello, la ICRP determinó especies que pueden considerarse representativas de los ecosistemas marinos, terrestres y de agua dulce¹ y que presentan una amplia variación geográfica [I-1]. Estas especies se denominan “animales y plantas de referencia”². Para seleccionar estas especies, la ICRP utilizó un enfoque pragmático (por ejemplo, la existencia de información suficiente sobre las especies para poder utilizarlas como animales y plantas de referencia) y tuvo en cuenta qué especies se verían más afectadas por la exposición a la radiación presente en los medios naturales [I-1]. El enfoque de la ICRP para la protección de la flora y la fauna examina los efectos de la radiación a nivel individual que podrían tener un impacto en la estructura de la población de una especie (por ejemplo, mortalidad temprana, algunas formas de morbilidad, efectos en la reproducción, inducción de daños cromosómicos) [I-1 y I-2].

I-10. La ICRP definió criterios para evaluar y gestionar el impacto radiológico sobre la flora y la fauna en forma de “niveles de referencia derivados” [I-1]. Los

¹ En cuanto a la necesidad de modelos de referencia que representen animales de granja típicos —principalmente grandes mamíferos que vivan esencialmente en un entorno humano— a efectos de su protección, la ICRP consideró que el uso de una evaluación del impacto radiológico en los seres humanos era suficiente para este tipo de situaciones medioambientales o ecológicas gestionadas [I-1].

² Un “animal o planta de referencia” es una entidad hipotética con las características biológicas básicas supuestas de un tipo particular de animal o planta, que se describe en términos generales hasta el nivel taxonómico de familia, con propiedades anatómicas, fisiológicas y de ciclo biológico definidas que pueden utilizarse para relacionar exposiciones con dosis, y dosis con efectos, para ese tipo de organismo vivo [I-1 y I-2].

niveles de referencia derivados son un conjunto de bandas de tasas de dosis³ dentro de las cuales no hay pruebas (para la mayoría de los animales y plantas de referencia) o solo algunas pruebas de efectos nocivos de la radiación ionizante en individuos de la especie que puedan tener consecuencias para la estructura de la población. Los efectos detectables en algunos individuos de una población no tendrían necesariamente consecuencias para el conjunto de la población [I-1]. Para incrementos muy bajos de dosis a nivel local, como los resultantes del funcionamiento normal de instalaciones y actividades, apenas pueden observarse impactos a nivel de población [I-1]. Los niveles de referencia derivados abarcan un orden de magnitud; para tasas de dosis por debajo del límite inferior de las bandas, no se han observado efectos o no se dispone de información al respecto [I-1 y I-2].

I-11. Los niveles de referencia derivados no representan límites, sino que, de acuerdo con las recomendaciones de la ICRP [I-2], deberían considerarse puntos de referencia para fundamentar el nivel adecuado de esfuerzo que debería destinarse a la protección del medio ambiente, en función de los objetivos generales de gestión, la fauna y flora reales presentes y el número de individuos así expuestos.

I-12. La ICRP también introdujo en la Publicación 124 el concepto de “organismo representativo”, que es equivalente al concepto de “persona representativa” utilizado en las evaluaciones de los efectos radiológicos para los seres humanos [I-2]. El organismo representativo es una especie o grupo de organismos particular que se ha seleccionado para su uso en una evaluación del impacto radiológico ambiental de una instalación o actividad específica, teniendo en cuenta su supuesta ubicación con respecto a la fuente de radiación [I-2]. Los organismos representativos son los que representan a la flora y fauna más altamente expuesta [I-2]. Los niveles de referencia derivados se aplican a los organismos representativos.

³ La combinación de factores de ponderación de la radiación con factores de ponderación del tejido para estimar las dosis efectivas para los seres humanos, expresadas en sieverts (Sv), no se aplica en la evaluación del riesgo de efectos como consecuencia de la exposición de la biota; la magnitud clave utilizada para la evaluación de los efectos de la exposición de la biota es la dosis absorbida, que se define como la cantidad de energía que es absorbida por una unidad de masa de tejido de un órgano u organismo, expresada en unidades de julios por kilogramo o grays (Gy), y que depende de la cantidad y el tipo de radiación [I-1]. Puesto que se tienen en cuenta diferentes especies de flora y fauna con diferentes períodos de vida, es conveniente expresar los criterios en forma de tasa de dosis, en grays por día (Gy/d) o sus subunidades, por ejemplo miligrays por día (mGy/d) [I-1 y I-8].

I-13. Dado que los niveles de referencia derivados no son límites, cuando las dosis estimadas para los organismos representativos se encuentran dentro de la banda o superan ligeramente el límite superior de la banda, la situación radiológica puede seguir considerándose aceptable. Sin embargo, un resultado de ese tipo probablemente justificaría llevar a cabo un examen más detallado de los posibles impactos en el medio ambiente, que debería tener en cuenta una serie de factores. Entre los factores que pueden tenerse en cuenta a la hora de tomar decisiones basadas en los impactos en la flora y la fauna cuando las dosis estimadas estén por encima del límite superior de las bandas figuran el tamaño de la zona en que se produzcan las tasas de dosis según la evaluación; el período de tiempo previsto para dichas tasas de dosis; la necesidad de cumplir una legislación específica; si la flora o la fauna se consideran un recurso, para fines como el consumo humano (p. ej., en la gestión de la pesca y la gestión de los alimentos procedentes de los bosques); la presencia de otros factores de estrés ambiental; si la evaluación está relacionada con una especie real presente en la zona o con tipos generales de plantas y animales, y el grado de precaución que se considere necesario [I-1].

METODOLOGÍA GENÉRICA PARA EVALUAR LA EXPOSICIÓN DE LA FLORA Y LA FAUNA

I-14. Para la metodología genérica descrita en el presente anexo, el organismo representativo se selecciona directamente a partir de los animales y plantas de referencia de la ICRP pertinentes para el ecosistema principal específico (por ejemplo, terrestre, marino, de agua dulce) que se supone que se encuentran en la zona en que las condiciones de exposición dan lugar a las dosis más elevadas.

I-15. De acuerdo con el concepto de organismos representativos, la tasa de dosis que ha de estimarse en la evaluación del impacto sobre las poblaciones de flora y fauna no sería la tasa de dosis del individuo más expuesto, sino que sería característica de las tasas de dosis recibidas por un grupo de organismos individuales situados en la zona donde pueden producirse las exposiciones más elevadas.

I-16. La selección de la zona en que se encuentra el grupo de individuos representativos de aquellos más altamente expuestos ha de tener en cuenta la distribución espacial típica de los radionucleidos emitidos al medio ambiente. En general, las instalaciones y actividades pueden considerarse fuentes puntuales, y las mayores concentraciones de la actividad en los medios naturales resultantes de las descargas en condiciones normales de funcionamiento se encuentran normalmente a pocos kilómetros de la fuente. En la figura I-1 se ilustra este

comportamiento típico de los materiales emitidos a los medios atmosféricos y acuáticos desde una fuente puntual. El aumento de la concentración de la actividad en el medio ambiente resultante de las descargas, tal como muestran las curvas de línea continua de la figura I-1, disminuye de modo considerable con la distancia desde el lugar donde se miden las concentraciones más altas. A partir de cierta distancia, solo pueden detectarse concentraciones de la actividad de fondo (por ejemplo, actividad debida a lluvia radiactiva global anterior o radiactividad natural).

I-17. Debido a la distribución anual de las direcciones del viento y, en el caso de la dispersión acuática, las direcciones de los flujos de agua en ríos, lagos y océanos, es razonable suponer que las concentraciones de la actividad más elevadas se detectarían en cualquier dirección en un radio de hasta 10 km. Por consiguiente, puede utilizarse una zona de referencia de entre 100 y 400 km² situada alrededor del punto de emisión para las evaluaciones genéricas descritas en el presente anexo. Puede suponerse con seguridad que las mayores concentraciones de la actividad ambiental debidas a descargas en condiciones normales de funcionamiento se encuentren dentro de esa zona y, por consiguiente, los animales y plantas de referencia dentro de esa zona normalmente recibirían las mayores dosis de radiación supuestas. El tamaño de esta zona de referencia recomendada es indicativo; pueden adoptarse tamaños diferentes para determinadas instalaciones o actividades y para diferentes ubicaciones y situaciones medioambientales a fin de tener en cuenta las condiciones locales.

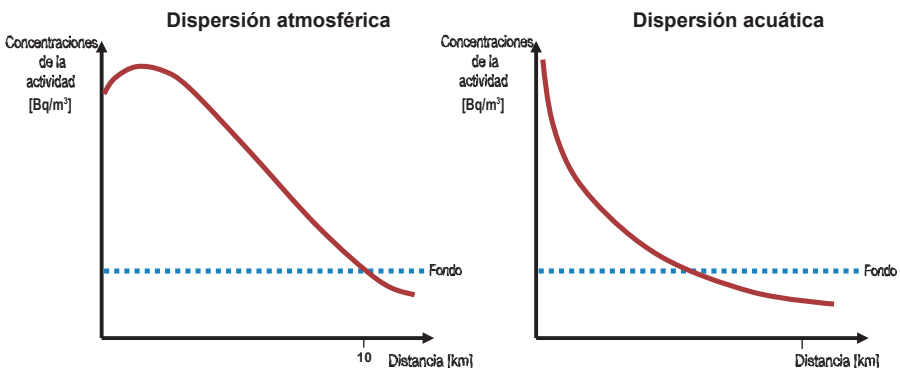


Fig. I-1. Patrones típicos de concentraciones de la actividad medioambiental como resultado de la dispersión atmosférica y acuática de descargas procedentes de instalaciones y actividades en condiciones normales de funcionamiento

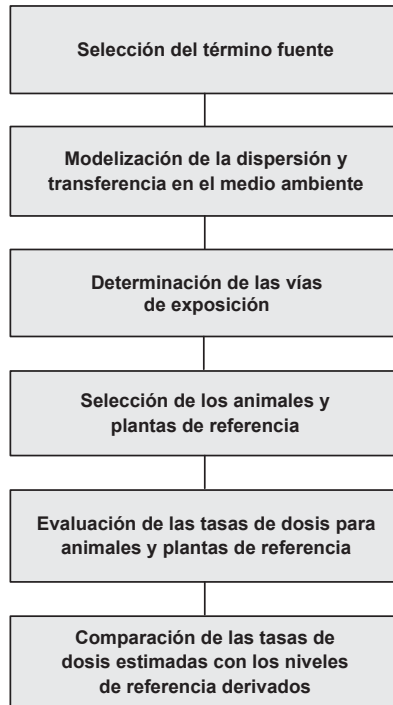


Fig. I-2. Componentes de una evaluación genérica para la protección de la flora y la fauna en condiciones normales de funcionamiento. (La figura no pretende constituir un procedimiento detallado paso a paso, sino que se presenta para ilustrar los elementos de la evaluación y facilitar su descripción).

I-18. La zona de referencia alrededor de la fuente descrita en el párrafo I-17 es lo suficientemente grande como para que se produzca la mezcla de los efluentes con los medios naturales y para que el número de individuos de las especies consideradas en la evaluación sea lo suficientemente grande. Estos dos factores garantizan que las tasas de dosis estimadas calculadas en las evaluaciones sean representativas de las tasas de dosis que recibe la fracción de la población más altamente expuesta, y no de las que recibe el organismo individual más expuesto de la población.

EVALUACIÓN PARA LA PROTECCIÓN DE LA FLORA Y LA FAUNA EN CONDICIONES NORMALES DE FUNCIONAMIENTO

Enfoque de la evaluación

I-19. La figura I-2 resume los componentes de una evaluación genérica del impacto radiológico ambiental para la protección de la flora y la fauna en condiciones normales de funcionamiento. En primer lugar, utilizando el término fuente estimado en condiciones normales de funcionamiento y modelos de dispersión y transferencia ambiental, se estiman las concentraciones de la actividad en una serie de medios naturales pertinentes para la flora y la fauna; a continuación, combinando las concentraciones de la actividad con datos dosimétricos, así como información sobre los tiempos de permanencia de las distintas especies en diferentes hábitats (por ejemplo, en el suelo o sobre este, en el agua, en sedimentos acuáticos), se estiman las tasas de dosis procedentes de exposiciones internas y externas de animales y plantas de referencia pertinentes para los ecosistemas que se examinan. Por último, las tasas de dosis resultantes se comparan con los niveles de referencia derivados.

Selección del término fuente y modelización de la dispersión y transferencia en el medio ambiente

I-20. Las características del término fuente y los modelos para simular la dispersión y la transferencia ambiental de radionucleidos aplicables a la flora y la fauna (los dos primeros recuadros de la figura I-2) serían similares o iguales a los descritos en la evaluación de las exposiciones de los seres humanos en condiciones normales de funcionamiento en la sección 5 de esta guía de seguridad, garantizando que los medios naturales examinados sean pertinentes para estimar las exposiciones de la flora y la fauna. Por ejemplo, los modelos tendrían que ser adecuados para predecir las concentraciones de la actividad en medios naturales como el aire, el agua dulce, el agua de mar, los sedimentos acuáticos y el suelo, y los parámetros de transferencia ambiental tendrían que ser pertinentes para la evaluación de las exposiciones de la flora y la fauna⁴. La referencia [I-9] proporciona modelos y datos para estimar la dispersión ambiental

⁴ Los parámetros de transferencia utilizados para estimar las exposiciones de los seres humanos debidas a la ingestión de biota como parte de su dieta, como el pescado, son diferentes de los factores de transferencia utilizados para estimar las exposiciones de la biota, como los propios peces. Los primeros solo tienen en cuenta la concentración de la actividad en la parte comestible del pez, mientras que los segundos tienen en cuenta la concentración de la actividad en todo el pez, incluidas las espinas.

de radionucleidos. Las referencias [I-10 y I-11] proporcionan parámetros de transferencia de radionucleidos aplicables a la flora y la fauna⁵.

Determinación de las vías de exposición

I-21. Las vías de exposición que han de tenerse en cuenta al evaluar las dosis para las poblaciones de flora y fauna son las siguientes:

- a) la exposición externa debida a material radiactivo en la atmósfera, el agua, el suelo y los sedimentos, y
- b) la exposición interna por material radiactivo absorbido por las plantas o ingerido o inhalado por los animales.

Selección de los animales y plantas de referencia

I-22. Los organismos representativos en una evaluación genérica se seleccionan a partir de los tipos de animales y plantas de los principales ecosistemas (terrestres, de agua dulce y marinos) que sean pertinentes para el lugar que se evalúa. En el cuadro I-1 se presentan estos tipos de animales y plantas para los distintos ecosistemas y los animales y plantas de referencia conexos definidos por la ICRP [I-1]⁶.

I-23. Para evaluar sus condiciones de exposición, los animales y plantas de referencia seleccionados han de encontrarse en una zona de referencia situada alrededor de la fuente, normalmente alrededor del punto de emisión, donde suelen darse las mayores concentraciones de la actividad en el medio ambiente. Las tasas de dosis características para este grupo se estiman utilizando, por ejemplo, las concentraciones medias de la actividad dentro de esta zona de referencia. Si bien las características ecológicas pueden diferir, en general, podría utilizarse un área alrededor del punto de emisión de efluentes de entre 100 y 400 km² para

⁵ Se está preparando una versión revisada de la publicación N° 19 de la *Colección de Informes de Seguridad* [I-9], que abarcará las evaluaciones de cribado de la exposición del público, modelos y parámetros genéricos para evaluar el impacto de las descargas radiactivas, y modelos y parámetros genéricos para evaluar las exposiciones de la flora y la fauna debidas a descargas radiactivas procedentes de instalaciones y actividades.

⁶ El proyecto de la Comisión Europea relativo a la evaluación y gestión del riesgo ambiental derivado de los contaminantes ionizantes (ERICA) [I-4] recomienda un conjunto diferente pero equivalente de organismos de referencia.

la mayoría de los escenarios de exposición relacionados con el funcionamiento normal de actividades o instalaciones⁷.

CUADRO I-1. TIPOS DE ANIMALES Y PLANTAS EN TRES ECOSISTEMAS PRINCIPALES PARA SU USO EN EVALUACIONES GENÉRICAS DEL IMPACTO RADIOLÓGICO SOBRE LA FLORA Y LA FAUNA Y NIVELES DE REFERENCIA DERIVADOS PERTINENTES [I-1]

| Ecosistema en cuestión | Tipo de animal o planta | Animal o planta de referencia de la ICRP | Nivel de referencia derivado (mGy/d) |
|------------------------|-------------------------|--|--------------------------------------|
| Terrestre | Planta grande | Pino de referencia | 0,1-1 |
| | Planta pequeña | Hierba silvestre de referencia | 1-10 |
| | Insecto | Abeja de referencia | 10-100 |
| | Anélido | Lombriz de referencia | 10-100 |
| | Mamífero grande | Ciervo de referencia | 0,1-1 |
| | Mamífero pequeño | Rata de referencia | 0,1-1 |
| Agua dulce | Ave acuática | Pato de referencia | 0,1-1 |
| | Anfibio | Rana de referencia | 1-10 |
| | Pez | Trucha de referencia | 1-10 |
| Marino | Alga marina | Alga parda de referencia | 1-10 |
| | Crustáceo | Cangrejo de referencia | 10-100 |
| | Pez | Pez plano de referencia | 1-10 |

⁷ Esta zona podría ser un círculo de entre unos 5 y 10 km de radio o un cuadrado de entre 10 y 20 km de lado, cuyo centro sea en ambos casos el punto de emisión.

Evaluación de las tasas de dosis para animales y plantas de referencia

I-24. Se calculan las tasas de dosis debidas a la exposición por vías internas y externas para los animales y plantas de referencia seleccionados que se encuentran en la zona de referencia situada alrededor de la fuente, tal como se describe en el párrafo I-17. La tasa de dosis absorbida puede estimarse generalmente utilizando modelos de transferencia ambiental basados en factores de concentración de un medio natural a la biota y los correspondientes factores dosimétricos para exposiciones internas y externas. Las referencias [I-10 y I-11] proporcionan tasas de concentración de los medios naturales a la biota para diferentes especies de flora y fauna, y la referencia [I-1] proporciona factores dosimétricos para la estimación de las tasas de dosis con respecto a animales y plantas de referencia⁸.

Comparación de las tasas de dosis estimadas con los niveles de referencia derivados

I-25. En una evaluación genérica prospectiva como la que figura en el presente anexo, si las tasas de dosis para los animales y plantas representativos seleccionados están por debajo del límite inferior de los niveles de referencia derivados pertinentes, como los presentados en cuadro I-1⁹, el impacto en las poblaciones de flora y fauna puede considerarse insignificante y el nivel de protección de la flora y la fauna puede considerarse adecuado. Si las tasas de dosis estimadas se encuentran dentro de los límites inferior y superior de las bandas, el nivel de protección puede seguir considerándose aceptable, pero el órgano regulador podría determinar la necesidad de examinar esferas adicionales (es decir, mejora del grado de detalle de la evaluación) o adoptar medidas de mitigación prácticas, teniendo en cuenta que los niveles de referencia derivados son puntos de referencia, y no límites. Si las tasas de dosis resultantes están por encima del límite superior de la banda del nivel de referencia derivado pertinente, el órgano regulador tendría que decidir si es necesario estudiar la posibilidad de establecer un mayor control de la fuente o desplegar más esfuerzos de protección.

⁸ La versión revisada que se está preparando de la referencia [I-9] proporcionará métodos prácticos para estimar las tasas de dosis con respecto a animales y plantas representativos utilizando escenarios genéricos de dispersión ambiental y los factores dosimétricos establecidos en la referencia [I-1].

⁹ Algunos Estados han definido y utilizado diferentes enfoques para evaluar el impacto radiológico en la flora y la fauna, incluidos sus propios criterios radiológicos, que en general son compatibles con el enfoque y los niveles de referencia derivados de la ICRP [I-3 a I-5].

REFERENCIAS DEL ANEXO I

- [I-1] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Environmental Protection: The Concept and Use of Reference Animals and Plants, Publication 108, Elsevier, Oxford (2008).
- [I-2] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Protection of the Environment under Different Exposure Situations, Publication 124, Sage Publishing, London (2014).
- [I-3] UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY, A Graded Approach for Evaluating Radiation Doses to Aquatic and Terrestrial Biota, DOE-STD-1153-2002, USDOE, Washington, DC (2002).
- [I-4] EUROPEAN COMMISSION, D-ERICA: An Integrated Approach to the Assessment and Management of Environmental Risks from Ionising Radiation, EC, Brussels (2007).
- [I-5] STANDARDS COUNCIL OF CANADA, Environmental Risk Assessments at Class I Nuclear Facilities and Uranium Mines and Mills, CSA N288.6 (R2017), CSA Group, Toronto (2017).
- [I-6] COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA, *Las Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica*, Publicación 103, editada por la Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR) con la autorización de la ICRP, Senda Editorial S.A., Madrid, 2008.
- [I-7] COMUNIDAD EUROPEA DE LA ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO, ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL, AGENCIA PARA LA ENERGÍA NUCLEAR DE LA OCDE, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, *Principios fundamentales de seguridad, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° SF-1*, OIEA, Viena, 2007.
- [I-8] PROEHL, G., et al., Dosimetric Models and Data for Assessing Radiation Exposure to Biota: Deliverable 3 to the Project “FASSET”, Framework for the Assessment of Environmental Impact, Contract No. FIGE-CT-2000-00102, Swedish Radiation Protection Authority, Solna (2003).
- [I-9] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment, Safety Reports Series No. 19, IAEA, Vienna (2001). (Se está preparando una versión revisada de esta publicación).
- [I-10] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer to Wildlife, Technical Reports Series No. 479, IAEA, Vienna (2014).
- [I-11] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Environmental Protection: Transfer Parameters for Reference Animals and Plants, Publication 114, Elsevier, Oxford (2009).

Anexo II

CONSIDERACIÓN DEL RIESGO DE EFECTOS SOBRE LA SALUD Y LA EVALUACIÓN DE EXPOSICIONES POTENCIALES

II-1. La estimación de las exposiciones potenciales requiere la evaluación y cuantificación del impacto de accidentes o sucesos que tengan muy pocas probabilidades de producirse. En general, existe todo un espectro de posibles escenarios de exposición potencial, que van desde los que tienen un impacto potencial escaso o nulo hasta los que tienen un impacto potencial muy elevado. En un gran número de instalaciones y actividades pueden producirse solamente consecuencias radiológicas de escasa importancia o insignificantes, incluso en escenarios de accidente, debido a sus inventarios muy limitados de material radiactivo o a las características intrínsecamente seguras de la instalación o actividad. De conformidad con el principio 8 de la publicación N° SF1 de la *Colección de Normas de Seguridad del OIEA*, titulada *Principios fundamentales de seguridad* [II-1], relativo a la prevención de accidentes, han de adoptarse medidas para que la probabilidad de que se produzca un accidente que tenga consecuencias perjudiciales sea extremadamente baja. Por consiguiente, las instalaciones se diseñan y explotan y las actividades se llevan a cabo de forma que los accidentes con un impacto potencial elevado tengan una probabilidad más baja que los sucesos con un impacto potencial de escasa importancia.

II-2. Una medida del riesgo de efectos sobre la salud como consecuencia de la emisión no prevista o accidental de radionucleidos al medio ambiente procedentes de instalaciones y actividades es un indicador útil que ha de tenerse en cuenta al evaluar las exposiciones potenciales. El control del riesgo de efectos sobre la salud como consecuencia de exposiciones potenciales comienza en la etapa de diseño de las instalaciones y actividades con la adopción de disposiciones de protección y seguridad (por ejemplo, defensa en profundidad) que sean proporcionales a la probabilidad y la magnitud de las exposiciones potenciales [II-2].

PROBABILIDAD DE EFECTOS SOBRE LA SALUD PARA SU USO EN EVALUACIONES PROSPECTIVAS

II-3. La estimación de la dosis de radiación para el público resultante de accidentes postulados, en términos de dosis efectivas, combinada con un coeficiente de riesgo para la salud, puede interpretarse, en el marco de una

evaluación prospectiva, como una indicación del riesgo de que se materialicen efectos perjudiciales para la salud. En este modelo, se supone que la probabilidad de la futura aparición de un efecto estocástico es proporcional a la dosis recibida, sin que exista ningún umbral. El coeficiente de riesgo genérico para efectos estocásticos en los seres humanos, que puede utilizarse en evaluaciones prospectivas del impacto radiológico ambiental, es $5 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ [II-2].

DEFINICIÓN DE MEDIDA DEL RIESGO

II-4. El término “riesgo” se utiliza a menudo para expresar una combinación del impacto de un suceso o escenario y la probabilidad de ese impacto. En la publicación N° GSR Part 3 de la *Colección de Normas de Seguridad del OIEA*, titulada *Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad* [II-2], el “riesgo” se define del siguiente modo:

“Magnitud multiatributiva con la que se expresa un riesgo en sentido general, un peligro o la posibilidad de consecuencias nocivas o perjudiciales vinculadas a exposiciones reales o potenciales. Guarda relación con magnitudes tales como la probabilidad de determinadas consecuencias dañinas y la amplitud y el carácter de tales consecuencias”.

Puede surgir confusión entre este término, que tiene un significado delimitado y una definición matemática, y el significado cotidiano de la palabra “riesgo”, que a veces se entiende como sinónimo de peligro. Se han desarrollado diversos sistemas para cuantificar el riesgo asociado a un suceso o escenario y, de este modo, poder comparar directamente los riesgos asociados a diversos sucesos.

II-5. Como se explica en los párrafos 5.43 a 5.75 de esta guía de seguridad, cuando se utiliza un enfoque para evaluar de modo prospectivo el impacto de exposiciones potenciales, para cada escenario de accidente, se determina una consecuencia (por ejemplo, una dosis para la persona representativa) y la probabilidad asociada de esa consecuencia.

II-6. Para una evaluación con fines de protección radiológica, podría ser útil definir una sola magnitud que dé una medida del riesgo individual de efectos

sobre la salud¹. Dado que la consecuencia de una dosis de radiación puede expresarse como una mayor probabilidad de efectos sobre la salud (por ejemplo, muerte por cáncer²), puede obtenerse una indicación del riesgo combinando la probabilidad p_i de que se produzca el escenario de accidente i y la probabilidad de un efecto concreto sobre la salud si se produce el escenario de accidente i (C_i), a saber

$$R_i = p_i \times C_i \quad (\text{II-1})$$

de modo que R_i es el riesgo de un efecto concreto sobre la salud debido al escenario de accidente i .

II-7. Si es preciso considerar varios sucesos independientes entre sí y las probabilidades de los sucesos son bajas, podrían sumarse los riesgos de efectos sobre la salud debidos a todos los escenarios de exposición potencial contemplados para obtener la probabilidad global de efectos sobre la salud en la persona representativa:

$$R = \sum_i p_i \times C_i \quad (\text{II-2})$$

II-8. Como se describe en los párrafos anteriores, el riesgo estimado en el marco de una evaluación prospectiva del impacto radiológico ambiental, tal como se describe en la presente guía de seguridad, se aplica a un individuo (es decir, a la persona representativa de las exposiciones potenciales). En el caso de grandes instalaciones, como las centrales nucleares, que pueden afectar potencialmente a muchas personas y que podrían causar otros impactos no radiológicos, como

¹ Las definiciones de “riesgo” que figuran en el presente anexo pueden interpretarse solamente como indicativas de los riesgos, debido a las numerosas incertidumbres presentes en un análisis probabilístico de la seguridad, en la estimación de las posibles exposiciones y en la cuantificación de las consecuencias radiológicas conexas. Véase también INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Extension of the Principles of Radiation Protection to Sources of Potential Exposure, Safety Series No. 104, IAEA, Vienna (1990).

² Para ser más precisos, la probabilidad del efecto sobre la salud puede estimarse utilizando la función dosis-respuesta, $f(D)$, que cambia con el nivel de dosis. El riesgo de efectos tempranos sobre la salud también puede calcularse mediante funciones de peligro, teniendo en cuenta la variación del riesgo con respecto a la tasa de acumulación de la dosis durante un período determinado (por ejemplo, el primer día o primeros días después de un accidente). El riesgo de efectos tardíos sobre la salud puede tener en cuenta no solo los cánceres mortales sino también los no mortales en distintos órganos, la leucemia y los efectos hereditarios. Los detalles de estas consideraciones quedan fuera del ámbito del presente anexo.

el estrés social provocado por la evacuación y la restricción del uso del suelo de amplias zonas, el posible riesgo social también podría cuantificarse y evaluarse con respecto a un criterio. La consideración del riesgo social no se incluye en las presentes orientaciones y está sujeta a los enfoques nacionales.

II-9. En el apéndice de la presente guía de seguridad figuran los criterios que podrían utilizarse para la comparación con la estimación del riesgo de efectos sobre la salud como consecuencia de exposiciones potenciales.

ASPECTOS BÁSICOS DE LA EVALUACIÓN PROBABILÍSTICA DE LAS EXPOSICIONES POTENCIALES DEL PÚBLICO

II-10. Como se describe en la sección 5 de esta guía de seguridad, en el caso de instalaciones que tengan muchos dispositivos técnicos de seguridad y que, por tanto, requieran evaluaciones complejas para determinar la probabilidad de que se produzcan sucesos, la magnitud de los términos fuente y las consecuencias asociadas, pueden ser necesarias técnicas complejas de evaluación de la seguridad, combinando métodos deterministas y probabilísticos y, en algunos casos, la opinión de expertos.

II-11. En una evaluación probabilística de las exposiciones potenciales, se estiman las frecuencias de aparición de los sucesos iniciadores postulados y se determinan las posibles secuencias de fallos o un subconjunto representativo que abarque las respuestas de los sistemas de seguridad y la central, incluidas las acciones de los operadores. La probabilidad o frecuencia global del escenario o secuencia de fallo se calcula combinando la frecuencia de aparición de los sucesos iniciadores postulados con las probabilidades de cada fallo de sistema. El uso de probabilidades y frecuencias de aparición conlleva la definición de un período de tiempo, que puede seleccionarse arbitrariamente para realizar el análisis. Suele seleccionarse un período de un año.

II-12. A continuación se calcula el término fuente de cada secuencia. En algunos casos, puede utilizarse un conjunto reducido de términos fuente que englobe términos fuente similares para un conjunto de secuencias de fallos con el fin de reducir el esfuerzo de cálculo necesario.

II-13. Posteriormente, se calcula la dosis para la persona representativa relativa a exposiciones potenciales utilizando un conjunto de condiciones meteorológicas y otras condiciones de transferencia ambiental, junto con las probabilidades de que se den estas condiciones y los factores específicos del emplazamiento que

puedan afectar a la dosis y las probabilidades de que se den las condiciones particulares, como la probabilidad de que el viento sople desde la fuente hacia el blanco; la probabilidad de que se den otras condiciones meteorológicas, como la clase de estabilidad de Pasquill, la velocidad del viento y precipitaciones, y la probabilidad de que la persona representativa esté al aire libre o en un lugar cerrado.

REFERENCIAS DEL ANEXO II

- [II-1] AGENCIA PARA LA ENERGÍA NUCLEAR DE LA OCDE, COMUNIDAD EUROPEA DE LA ENERGÍA ATÓMICA, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO, ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE, *Principios fundamentales de seguridad, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° SF-1*, OIEA, Viena, 2007.
- [II-2] AGENCIA PARA LA ENERGÍA NUCLEAR DE LA OCDE, COMISIÓN EUROPEA, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE, *Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GSR Part 3*, OIEA, Viena, 2016.

COLABORADORES EN LA REDACCIÓN Y LA REVISIÓN

| | |
|---------------------|---|
| Asfaw, K. | Organismo Internacional de Energía Atómica |
| Boal, T. | Organismo Internacional de Energía Atómica |
| Brownless, G. | Babcock International Group, Reino Unido |
| Cabianca, T. | Public Health England, Reino Unido |
| Cailles, C. | Agencia de Medio Ambiente, Reino Unido |
| Cartier, F. | Inspección Federal de Seguridad Nuclear, Suiza |
| Curti, A. | Autoridad Regulatoria Nuclear, Argentina |
| Daguse, T. | Électricité de France, Francia |
| Deguette, H. | AREVA la Hague, Francia |
| Dolinar, G. | Atomic Energy of Canada, Canadá |
| Garnier Laplace, J. | Instituto de Radioprotección y Seguridad Nuclear, Francia |
| Harman, N. | Amec, Reino Unido |
| Hemidy, P.-Y. | Électricité de France, Francia |
| Jones, K.A. | Public Health England, Reino Unido |
| Kliaus, V. | Centro Republicano Científico-Práctico de Higiene, Belarús |
| Lehmann, K.-H. | Technischer Überwachungsverein Süddeutschland, Alemania |
| Moore, J. | Comisión Reguladora Nuclear, Estados Unidos de América |
| Pinak, M. | Organismo Internacional de Energía Atómica |
| Proehl, G. | Organismo Internacional de Energía Atómica |

| | |
|------------------|---|
| Robinson, C. | Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente |
| Rochedo, E. | Comisión Nacional de Energía Nuclear, Brasil |
| Saint-Pierre, S. | Asociación Nuclear Mundial |
| Tellería, D. | Organismo Internacional de Energía Atómica |
| Van Graan, H. | Organismo Nacional de Reglamentación Nuclear, Sudáfrica |
| Vermorel, F. | Électricité de France, Francia |
| Vilkamo, O. | Autoridad de Seguridad Radiológica y Nuclear, Finlandia |
| Willrodt, C. | Bundesamt für Strahlenschutz, Alemania |
| Yankovich, T. | Ecometrix Inc., Canadá |



IAEA

Organismo Internacional de Energía Atómica

Nº 26

PEDIDOS DE PUBLICACIONES

Las publicaciones de pago del OIEA pueden adquirirse a través de los proveedores que se indican a continuación o en las principales librerías locales.

Los pedidos de publicaciones gratuitas deben hacerse directamente al OIEA. Al final de la lista de proveedores se proporcionan los datos de contacto.

AMÉRICA DEL NORTE

Bernan / Rowman & Littlefield

15250 NBN Way, Blue Ridge Summit, PA 17214, EE. UU.

Teléfono: +1 800 462 6420 • Fax: +1 800 338 4550

Correo electrónico: orders@rowman.com • Sitio web: www.rowman.com/bernan

RESTO DEL MUNDO

Póngase en contacto con su proveedor local de preferencia o con nuestro distribuidor principal:

Eurospan Group

Gray's Inn House

127 Clerkenwell Road

Londres EC1R 5DB

Reino Unido

Pedidos comerciales y consultas:

Teléfono: +44 (0)176 760 4972 • Fax: +44 (0)176 760 1640

Correo electrónico: eurospan@turpin-distribution.com

Pedidos individuales:

www.eurospanbookstore.com/iaea

Para más información:

Teléfono: +44 (0)207 240 0856 • Fax: +44 (0)207 379 0609

Correo electrónico: info@eurospangroup.com • Sitio web: www.eurospangroup.com

Los pedidos de publicaciones, tanto de pago como gratuitas, pueden enviarse directamente a:

Dependencia de Mercadotecnia y Venta

Organismo Internacional de Energía Atómica

Vienna International Centre, PO Box 100, 1400 Viena, Austria

Teléfono: +43 1 2600 22529 o 22530 • Fax: +43 1 26007 22529

Correo electrónico: sales.publications@iaea.org • Sitio web: <https://www.iaea.org/es/publicaciones>

Seguridad mediante las normas internacionales

**ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA
VIENA**