

# Normas de seguridad del OIEA

para la protección de las personas y el medio ambiente

## Seguridad de las instalaciones de fabricación de combustible de uranio

Guía de seguridad específica

Nº SSG-6 (Rev. 1)



**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](http://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](mailto: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.

SEGURIDAD DE LAS INSTALACIONES  
DE FABRICACIÓN DE COMBUSTIBLE DE URANIO

Los siguientes Estados son Miembros del Organismo Internacional de Energía Atómica:

ALBANIA	FINLANDIA	PAÍSES BAJOS, REINO DE LOS
ALEMANIA	FRANCIA	PAKISTÁN
ANGOLA	GABÓN	PALAU
ANTIGUA Y BARBUDA	GAMBIA	PANAMÁ
ARABIA SAUDITA	GEORGIA	PAPUA NUEVA GUINEA
ARGELIA	GHANA	PARAGUAY
ARGENTINA	GRANADA	PERÚ
ARMENIA	GRECIA	POLONIA
AUSTRALIA	GUATEMALA	PORTUGAL
AUSTRIA	GUINEA	QATAR
AZERBAIYÁN	GUYANA	REINO UNIDO DE GRAN BRETAÑA E IRLANDA DEL NORTE
BAHAMAS	HAITÍ	REPÚBLICA ÁRABE SIRIA
BAHREIN	HONDURAS	REPÚBLICA CENTROAFRICANA
BANGLADESH	HUNGRÍA	REPÚBLICA CHECA
BARBADOS	INDIA	REPÚBLICA DE MOLDOVA
BELARÚS	INDONESIA	REPÚBLICA DEMOCRÁTICA DEL CONGO
BÉLGICA	IRÁN, REPÚBLICA ISLÁMICA DEL	REPÚBLICA DEMOCRÁTICA POPULAR LAO
BELICE	IRAQ	REPÚBLICA DOMINICANA
BENIN	IRLANDA	REPÚBLICA UNIDA DE TANZANÍA
BOLIVIA, ESTADO PLURINACIONAL DE	ISLANDIA	RUMANIA
BOSNIA Y HERZEGOVINA	ISLAS COOK	RWANDA
BOTSWANA	ISLAS MARSHALL	SAINT KITTS Y NEVIS
BRASIL	ISRAEL	SAMOA
BRUNEI DARUSSALAM	ITALIA	SAN MARINO
BULGARIA	JAMAICA	SAN VICENTE Y LAS GRANADINAS
BURKINA FASO	JAPÓN	SANTA LUCÍA
BURUNDI	JORDANIA	SANTA SEDE
CABO VERDE	KAZAJSTÁN	SENEGAL
CAMBOYA	KENYA	SERBIA
CAMERÚN	KIRGUISTÁN	SEYCHELLES
CANADÁ	KUWAIT	SIERRA LEONA
COLOMBIA	LESOTHO	SINGAPUR
COMORAS	LETONIA	SOMALIA
CONGO	LÍBANO	SRI LANKA
COREA, REPÚBLICA DE	LIBERIA	SUDÁFRICA
COSTA RICA	LIBIA	SUDÁN
CÔTE D'IVOIRE	LIECHTENSTEIN	SUECIA
CROACIA	LITUANIA	SUIZA
CUBA	LUXEMBURGO	TAILANDIA
CHAD	MACEDONIA DEL NORTE	TAYIKISTÁN
CHILE	MADAGASCAR	TOGO
CHINA	MALASIA	TONGA
CHIPRE	MALAWI	TRINIDAD Y TABAGO
DINAMARCA	MALÍ	TÚNEZ
DJIBOUTI	MALTA	TURKMENISTÁN
DOMINICA	MARRUECOS	TÜRKIYE
ECUADOR	MAURICIO	UCRANIA
EGIPTO	MAURITANIA	UGANDA
EL SALVADOR	MÉXICO	URUGUAY
EMIRATOS ÁRABES UNIDOS	MÓNACO	UZBEKISTÁN
ERITREA	MONGOLIA	VANUATU
ESLOVAQUIA	MONTENEGRO	VENEZUELA, REPÚBLICA BOLIVARIANA DE
ESLOVENIA	MOZAMBIQUE	VIET NAM
ESPAÑA	MYANMAR	YEMEN
ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA	NAMIBIA	ZAMBIA
ESTONIA	NEPAL	ZIMBABWE
ESWATINI	NICARAGUA	
ETIOPÍA	NÍGER	
FEDERACIÓN DE RUSIA	NIGERIA	
FIJI	NORUEGA	
FILIPINAS	NOVA ZELANDIA	
	OMÁN	

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  
Nº SSG-6 (Rev. 1)

SEGURIDAD DE LAS  
INSTALACIONES DE  
FABRICACIÓN DE  
COMBUSTIBLE DE URANIO

GUÍA DE SEGURIDAD ESPECÍFICA

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](http://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](mailto:sales.publications@iaea.org)  
[www.iaea.org/es/publicaciones](http://www.iaea.org/es/publicaciones)

© OIEA, 2024

Impreso por el OIEA en Austria  
Diciembre de 2024  
STI/PUB/2015

SEGURIDAD DE LAS INSTALACIONES DE FABRICACIÓN  
DE COMBUSTIBLE DE URANIO  
OIEA, VIENA, 2024  
STI/PUB/2015  
ISBN 978-92-0-315724-7 (papel) | ISBN 978-92-0-315924-1 (PDF)  
| ISBN B 978-92-0-315824-4 (EPUB)  
ISSN 1020-5837

## **PREFACIO**

**Rafael Mariano Grossi**  
**Director General**

El Estatuto del OIEA autoriza al Organismo a “establecer (...) normas de seguridad para proteger la salud y reducir al mínimo el peligro para la vida y la propiedad”. Estas son normas que el OIEA debe aplicar a sus operaciones y que los Estados pueden aplicar por conducto de su reglamentación nacional.

El OIEA inició su programa de normas de seguridad en 1958 y desde entonces ha habido muchos avances. En mi calidad de Director General, me comprometo a garantizar que el OIEA mantenga y mejore este conjunto integrado, exhaustivo y coherente de normas de seguridad de alta calidad, actualizadas, fáciles de usar y adecuadas a su finalidad. Su correcta aplicación en el uso de la ciencia y la tecnología nucleares debería ofrecer un alto nivel de protección de las personas y el medio ambiente en todo el mundo y brindar la confianza necesaria para posibilitar el uso continuo de la tecnología nuclear en beneficio de todos.

La seguridad es una responsabilidad nacional respaldada por una serie de convenios y convenciones internacionales. Las normas de seguridad del OIEA constituyen la base de estos instrumentos jurídicos y sirven de referencia mundial para ayudar a las partes a cumplir sus obligaciones. Si bien las normas de seguridad no son jurídicamente vinculantes para los Estados Miembros, se aplican ampliamente. Se han convertido en un punto de referencia indispensable y en un denominador común para la inmensa mayoría de los Estados Miembros que han adoptado estas normas para utilizarlas en la reglamentación nacional con el objetivo de mejorar la seguridad en la generación de energía nucleoelectrónica, los reactores de investigación y las instalaciones del ciclo del combustible, así como en las aplicaciones nucleares en la medicina, la industria, la agricultura y la investigación.

Las normas de seguridad del OIEA se basan en la experiencia práctica de sus Estados Miembros y se elaboran mediante consenso internacional. La participación de los miembros de los comités sobre normas de seguridad, el Comité de Orientación sobre Seguridad Física Nuclear y la Comisión sobre Normas de Seguridad es especialmente importante, y doy las gracias a todas las personas que aportan sus conocimientos y experiencias a esta labor.

El OIEA también utiliza estas normas de seguridad cuando presta asistencia a los Estados Miembros mediante sus misiones de examen y servicios de asesoramiento. Esto ayuda a los Estados Miembros en la aplicación de estas normas y permite el intercambio de experiencias y conocimientos valiosos. Las observaciones recibidas sobre estas misiones y servicios, así como las enseñanzas

extraídas de los eventos y la experiencia en el uso y la aplicación de las normas de seguridad se tienen en cuenta durante su revisión periódica.

Estoy convencido de que las normas de seguridad del OIEA y su aplicación son una aportación inestimable para garantizar un alto nivel de seguridad en el uso de la tecnología nuclear. Animo a todos los Estados Miembros a que promuevan y apliquen estas normas, y a que colaboren con el OIEA para mantener su calidad en el presente y en el futuro.

# 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<sup>1</sup> 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 fig. 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 fig. 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 Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP). Algunas normas de seguridad se elaboran

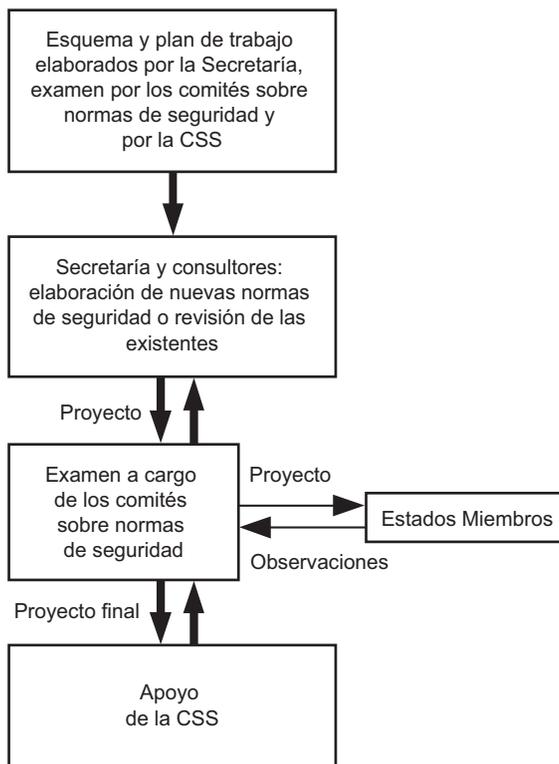


Fig. 2. Proceso de elaboración de una nueva norma de seguridad o de revisión de una norma existente.

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 (1.1–1.5) .....	1
	Objetivo (1.6, 1.7) .....	1
	Ámbito de aplicación (1.8–1.12) .....	2
	Estructura (1.13) .....	3
2.	PELIGROS EN LAS INSTALACIONES DE FABRICACIÓN DE COMBUSTIBLE DE URANIO (2.1–2.5) .....	4
3.	SISTEMA DE GESTIÓN Y SISTEMA DE VERIFICACIÓN PARA LAS INSTALACIONES DE FABRICACIÓN DE COMBUSTIBLE DE URANIO (3.1–3.6) .....	6
	Responsabilidades de la administración (3.7–3.11) .....	7
	Gestión de los recursos (3.12–3.17) .....	8
	Ejecución de los procesos (3.18–3.21) .....	10
	Medición, análisis, evaluación y mejora (3.22–3.24) .....	11
	Verificación de la seguridad (3.25–3.27) .....	12
4.	EVALUACIÓN DEL EMPLAZAMIENTO DE INSTALACIONES DE FABRICACIÓN DE COMBUSTIBLE DE URANIO (4.1–4.6) .....	13
5.	DISEÑO DE LAS INSTALACIONES DE FABRICACIÓN DE COMBUSTIBLE DE URANIO .....	14
	Funciones de seguridad (5.1–5.40) .....	14
	Sucesos iniciadores postulados (5.41–5.88) .....	25
	Instrumentación y control (5.89–5.94) .....	37
	Consideraciones relativas al factor humano (5.95–5.97) .....	40
	Análisis de la seguridad (5.98–5.117) .....	41
	Preparación y respuesta para casos de emergencia (5.118, 5.119) .....	46
	Gestión de desechos radiactivos (5.120–5.124) .....	47
	Gestión de efluentes gaseosos y líquidos (5.125–5.127) .....	48
	Otras consideraciones del diseño (5.128–5.137) .....	49
	Consideraciones sobre la gestión del envejecimiento (5.138–5.140) ..	50

6.	CONSTRUCCIÓN DE INSTALACIONES DE FABRICACIÓN DE COMBUSTIBLE DE URANIO (6.1–6.8) .....	51
7.	PUESTA EN SERVICIO DE INSTALACIONES DE FABRICACIÓN DE COMBUSTIBLE DE URANIO (7.1–7.8)...	52
8.	EXPLOTACIÓN DE INSTALACIONES DE FABRICACIÓN DE COMBUSTIBLE DE URANIO .....	54
	Organización de la explotación de instalaciones de fabricación de combustible de uranio (8.1–8.3) .....	54
	Dotación de personal de una instalación de fabricación de combustible de uranio (8.4–8.8) .....	54
	Cualificación y capacitación del personal (8.9–8.11).....	55
	Documentación operacional (8.12–8.18) .....	56
	Mantenimiento, calibración, ensayos periódicos e inspección (8.19–8.30) .....	58
	Gestión del envejecimiento (8.31–8.33).....	60
	Control de las modificaciones (8.34–8.43).....	61
	Control de peligros de criticidad nuclear (8.44–8.48).....	63
	Protección radiológica (8.49–8.65).....	64
	Seguridad industrial y química (8.66–8.74).....	69
	Gestión de desechos y efluentes radiactivos (8.75–8.78).....	70
	Preparación y respuesta para casos de emergencia (8.79–8.84).....	71
	Retroinformación basada en la experiencia operacional (8.85, 8.86) ..	73
9.	PREPARACIÓN PARA LA CLAUSURA DE INSTALACIONES DE FABRICACIÓN DE COMBUSTIBLE DE URANIO (9.1–9.6) .....	73
	REFERENCIAS .....	75
ANEXO I:	RUTAS DE PROCESO TÍPICAS EN UNA INSTALACIÓN DE FABRICACIÓN DE COMBUSTIBLE DE URANIO .....	79

ANEXO II:	EJEMPLOS DE ESTRUCTURAS, SISTEMAS Y COMPONENTES DE IMPORTANCIA PARA LA SEGURIDAD Y POSIBLES DESAFÍOS PARA LAS FUNCIONES DE SEGURIDAD EN INSTALACIONES DE FABRICACIÓN DE COMBUSTIBLE DE URANIO .....	80
ANEXO III:	EJEMPLOS DE PARÁMETROS PARA DEFINIR LÍMITES Y CONDICIONES OPERACIONALES PARA INSTALACIONES DE FABRICACIÓN DE COMBUSTIBLE DE URANIO.....	89
COLABORADORES EN LA REDACCIÓN Y LA REVISIÓN.....		93



# 1. INTRODUCCIÓN

## ANTECEDENTES

1.1. Los requisitos relativos a todas las esferas importantes de la seguridad en todas las etapas de la vida útil de una instalación del ciclo del combustible nuclear se establecen en la publicación de la *Colección de Normas de Seguridad del OIEA* N° SSR-4, titulada *Seguridad de las instalaciones del ciclo del combustible nuclear* [1].

1.2. En la presente Guía de Seguridad se ofrecen recomendaciones específicas sobre la seguridad de las instalaciones de fabricación de combustible de uranio.

1.3. El uranio y los desechos generados en las instalaciones de fabricación de combustible de uranio se manipulan, procesan, tratan y almacenan en la instalación. En las instalaciones de fabricación de combustible de uranio se pueden procesar o utilizar grandes cantidades de sustancias químicas peligrosas, que pueden ser tóxicas, corrosivas, combustibles o explosivas.

1.4. Los procesos de fabricación de combustible pueden depender en gran medida de la intervención del operador y de controles administrativos para garantizar la seguridad, además de medidas de seguridad de ingeniería pasivas y activas. La posibilidad de emisión de energía en caso de accidente en una instalación de fabricación de combustible de uranio está vinculada a la criticidad nuclear o a reacciones químicas. Esta posibilidad es pequeña en comparación con la que existe en una central nuclear y las consecuencias ambientales son, en términos generales, limitadas.

1.5. Esta Guía de Seguridad sustituye la publicación *Safety of Uranium Fuel Fabrication Facilities* (*Colección de Normas de Seguridad del OIEA* N° SSG-6)<sup>1</sup>.

## OBJETIVO

1.6. La presente Guía de Seguridad tiene por objeto formular recomendaciones sobre la evaluación de un emplazamiento, el diseño, la construcción, la puesta en servicio, la explotación y la preparación de la clausura de las instalaciones de

---

<sup>1</sup> INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Safety of Uranium Fuel Fabrication Facilities*, IAEA Safety Standards Series No. SSG-6, IAEA, Vienna (2010).

fabricación de combustible de uranio para que se cumplan los requisitos aplicables establecidos en la publicación N° SSR-4 [1].

1.7. Las recomendaciones que figuran en la presente guía van dirigidas principalmente a entidades explotadoras de instalaciones de fabricación de combustible de uranio, órganos reguladores, diseñadores y otras organizaciones pertinentes.

## ÁMBITO DE APLICACIÓN

1.8. Los requisitos de seguridad aplicables a las instalaciones del ciclo del combustible (es decir, instalaciones de refinado, conversión, enriquecimiento y reconversión de uranio<sup>2</sup>; almacenamiento de material fisible; fabricación de combustible, incluido combustible de mezcla de óxidos de uranio y plutonio; almacenamiento y reprocesamiento de combustible gastado; acondicionamiento y almacenamiento correspondientes de desechos, e instalaciones de investigación y desarrollo relacionadas con el ciclo del combustible) se establecen en la publicación N° SSR-4 [1]. En la presente Guía de Seguridad se formulan recomendaciones para cumplir esos requisitos en las instalaciones de fabricación de combustible de uranio.

1.9. Esta Guía de Seguridad trata específicamente sobre la manipulación, el procesamiento, la transferencia de material y el almacenamiento de uranio natural y uranio poco enriquecido (LEU) con un enriquecimiento en <sup>235</sup>U máximo del 6 %, que podría obtenerse de uranio natural, muy enriquecido o reprocesado que también podría contener trazas de plutonio. Abarca la fabricación de combustibles de óxido de uranio como producto final, pero no contempla las instalaciones que manipulan combustibles de uranio metálico. La presente guía trata también sobre la generación y la gestión de desechos radiactivos y efluentes radiactivos líquidos, gaseosos y en suspensión en el aire derivados de la manipulación y el procesamiento de estos materiales. Además, en ella se formulan recomendaciones sobre actividades auxiliares como el muestreo, la homogeneización, la degradación y los servicios de laboratorios analíticos. Los conjuntos combustibles completos suelen almacenarse en la instalación de fabricación de combustible antes de ser transportados a la central nuclear. Esta instalación de almacenamiento se considera parte de la instalación de fabricación de combustible. Esta guía se limita a la seguridad de las instalaciones de fabricación de combustible de uranio; en ella no

---

<sup>2</sup> También denominada “desconversión”.

se abordan los efectos que los conjuntos combustibles fabricados puedan tener en la seguridad de los reactores en los que se van a utilizar.

1.10. En la presente Guía de Seguridad se formulan recomendaciones específicas para garantizar la seguridad con respecto a la criticidad de las instalaciones de fabricación de combustible de uranio. Estas recomendaciones complementan otras más detalladas que figuran en la publicación *Criticality Safety in the Handling of Fissile Material (Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° SSG-27 (Rev. 1))* [2].

1.11. En esta guía no se aborda la aplicación de los requisitos de seguridad en el marco jurídico y gubernamental y en la supervisión reglamentaria (por ejemplo, los requisitos aplicables al proceso de autorización, la inspección reglamentaria y la observancia de la reglamentación) establecidos en la publicación *Marco gubernamental, jurídico y regulador para la seguridad (Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GSR Part 1 (Rev. 1))* [3].

1.12. La presente Guía de Seguridad no contiene recomendaciones en materia de seguridad física nuclear. Las recomendaciones de seguridad física nuclear para una instalación de fabricación de combustible de uranio figuran en la publicación *Recomendaciones de seguridad física nuclear sobre la protección física de los materiales y las instalaciones nucleares (INFCIRC/225/Rev. 5) (Colección de Seguridad Física Nuclear del OIEA N° 13)* [4], y en la publicación *Protección física de los materiales y las instalaciones nucleares (aplicación del documento INFCIRC/225/Rev. 5) (Colección de Seguridad Física Nuclear del OIEA N° 27-G)* [5] se ofrecen orientaciones al respecto. No obstante, esta guía contiene recomendaciones sobre la gestión de las interfaces entre la seguridad tecnológica, la seguridad física nuclear y el sistema de contabilidad y control de material nuclear de un Estado.

## ESTRUCTURA

1.13. En la sección 2 se ofrece una visión general de los peligros en una instalación de fabricación de combustible de uranio. En la sección 3 se formulan recomendaciones sobre el desarrollo de un sistema de gestión para una instalación de este tipo y las actividades vinculadas a este. En la sección 4 se describen los aspectos de seguridad que han tenerse en cuenta en la evaluación y selección de un emplazamiento para evitar o reducir al mínimo cualquier impacto de las operaciones en el medio ambiente. La sección 5 se refiere a la seguridad en la fase de diseño. En ella se ofrecen recomendaciones sobre el análisis de la seguridad de

estados operacionales y condiciones de accidente y se presentan los aspectos de seguridad de la gestión de desechos radiactivos en la instalación de fabricación de combustible de uranio y otras cuestiones relacionadas con el diseño. En la sección 6 se abordan los aspectos de seguridad en la fase de construcción, mientras que en la sección 7, se plantean las consideraciones de seguridad en la puesta en servicio. La sección 8 trata de la seguridad en la fase de explotación de la instalación y contiene recomendaciones sobre la gestión de la explotación, el mantenimiento y los ensayos periódicos, el control de las modificaciones, el control de la criticidad, la protección radiológica, la seguridad industrial, la gestión de desechos y efluentes, y la preparación y respuesta para casos de emergencia. En la sección 9 se formulan recomendaciones sobre el cumplimiento de los requisitos de seguridad en lo que respecta a la preparación para la clausura de una instalación de fabricación de combustible de uranio. En el anexo I figuran las rutas de proceso típicas en una instalación de fabricación de combustible de uranio. El anexo II contiene ejemplos de estructuras, sistemas y componentes importantes para la seguridad en las instalaciones de fabricación de combustible de uranio, agrupados según las zonas del proceso. En el anexo III se brindan ejemplos de parámetros para definir los límites y las condiciones operacionales de una instalación de fabricación de combustible de uranio.

## **2. PELIGROS EN LAS INSTALACIONES DE FABRICACIÓN DE COMBUSTIBLE DE URANIO**

2.1. En las instalaciones de fabricación de combustible de uranio hay cantidades importantes de compuestos de uranio (en estado gaseoso, líquido o sólido) y algunos de estos compuestos pueden estar presentes en forma dispersable, especialmente en las primeras fases del proceso de fabricación del combustible. Además, los compuestos de uranio presentes se encuentran en diversas formas químicas y físicas, y se utilizan junto con sustancias inflamables o químicamente reactivas como parte del proceso. Así pues, en estas instalaciones el principal peligro es la posibilidad de que se produzcan sucesos de criticidad nuclear y emisiones de hexafluoruro de uranio ( $UF_6$ ) y dióxido de uranio ( $UO_2$ ).

2.2. Los peligros relacionados con productos químicos tóxicos de UPE en una forma soluble como el  $UF_6$  son más importantes que los peligros asociados a su radiotoxicidad. Además de  $UF_6$ , también hay cantidades significativas de sustancias químicas peligrosas como el fluoruro de hidrógeno (HF). A su vez el  $UF_6$ , al ser emitido, reacciona con la humedad del aire, lo que produce HF y

fluoruro de uranio soluble ( $\text{UO}_2\text{F}_2$ ), que presentan otros peligros para la seguridad. Por lo tanto, en los análisis exhaustivos de la seguridad de las instalaciones de fabricación de combustible de uranio también se deberían abordar los posibles peligros derivados de estas sustancias químicas.

2.3. Dado que la radiotoxicidad del UPE es baja, cabe esperar que las posibles consecuencias radiológicas fuera del emplazamiento tras un accidente sean escasas. Sin embargo, las consecuencias radiológicas de una emisión accidental de uranio enriquecido resultante del reprocesamiento probablemente serían más graves y, por lo tanto, deberían tenerse en cuenta en la evaluación de la seguridad si la licencia que posee la instalación permite el procesamiento de este tipo de uranio. Además, el uranio es un metal pesado, su toxicidad química es bastante elevada y su absorción puede causar graves problemas de salud.

2.4. Las instalaciones de fabricación de combustible de uranio no presentan un posible peligro radiológico que pueda provocar un accidente con una emisión significativa de material radiactivo fuera del emplazamiento (en cantidades equivalentes a una emisión a la atmósfera de  $^{131}\text{I}$  desde una central nuclear con una actividad del orden de miles de terabecquerels). Sin embargo, determinadas condiciones de accidente en las que intervienen sustancias químicas peligrosas (por ejemplo, una emisión importante de fluoruro de hidrógeno) pueden tener consecuencias adversas fuera del emplazamiento, entre ellas la muerte o lesiones graves.

2.5. A fin de dar cumplimiento al requisito de aplicar el concepto de defensa en profundidad en la instalación (véase la sección 2 de la publicación N° SSR-4 [1]), los dos primeros niveles de defensa en profundidad, si se aplican correctamente a las instalaciones de fabricación de combustible de uranio, deberían poder reducir el riesgo a niveles adecuadamente bajos mediante el diseño y los procedimientos operacionales adecuados (véanse las secciones 5 y 8). Todos los niveles de defensa en profundidad deberían aplicarse conforme a un enfoque graduado.

### **3. SISTEMA DE GESTIÓN Y SISTEMA DE VERIFICACIÓN PARA LAS INSTALACIONES DE FABRICACIÓN DE COMBUSTIBLE DE URANIO**

3.1. Es necesario establecer y aplicar, con los recursos adecuados, un sistema de gestión documentado que integre la seguridad, la salud, el medio ambiente, la seguridad física, la calidad y los factores humanos y organizativos de la entidad explotadora, de conformidad con lo establecido en el requisito 4 de la publicación N° SSR-4 [1]. La entidad explotadora debería establecer y poner en práctica el sistema de gestión integrada en las primeras fases del diseño de una instalación de fabricación de combustible de uranio, a fin de garantizar que las medidas de seguridad se especifiquen, documenten, apliquen, supervisen, auditen y examinen periódicamente durante toda la vida útil de la instalación o la duración de la actividad.

3.2. Los requisitos relativos al sistema de gestión se establecen en la publicación *Liderazgo y gestión en pro de la seguridad (Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GSR Part 2)* [6]. Las recomendaciones conexas figuran en las publicaciones de la *Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GS-G-3.1, Aplicación del sistema de gestión de instalaciones y actividades* ([7]; N° GS-G-3.5, *Sistema de gestión de instalaciones nucleares* [8]; N° GSG-16, *Leadership, Management and Culture for Safety in Radioactive Waste Management* [9], y N° TS-G-1.4, *Sistema de gestión para el transporte seguro de materiales radiactivos* [10].

3.3. En el establecimiento del sistema de gestión integrada debería garantizarse la coordinación de la interfaz entre la seguridad tecnológica nuclear y la seguridad física nuclear. El sistema de gestión debería contemplar las preocupaciones específicas de cada disciplina en lo que respecta a la gestión de la información. Se deberían tratar los posibles conflictos entre la necesidad de transparencia de la información sobre cuestiones de seguridad y la necesidad de protección de la información por razones de seguridad física.

3.4. Para determinar la manera de desarrollar y aplicar el sistema de gestión de la seguridad de las instalaciones de fabricación de combustible de uranio, es necesario utilizar un enfoque graduado (véase el requisito 7 de la publicación N° GSR Part 2 [6]). Este enfoque debería basarse en la importancia relativa de cada elemento o proceso para la seguridad.

3.5. Es preciso que el sistema de gestión respalde el desarrollo y mantenimiento de una sólida cultura de la seguridad, especialmente en todos los aspectos de la seguridad con respecto a la criticidad (véase el requisito 12 de la publicación N° GSR Part 2 [6]).

3.6. De conformidad con los párrafos 4.15 a 4.23 de la publicación N° SSR-4 [1], el sistema de gestión debe abordar las siguientes esferas funcionales:

- a) Las responsabilidades de la administración, que comprenden el apoyo y el compromiso que se necesitan de ella para alcanzar los objetivos de la entidad explotadora.
- b) La gestión de los recursos, que incluye las medidas necesarias para garantizar que se determinan y se facilitan los recursos esenciales para la aplicación de la política de seguridad y el logro de los objetivos de la entidad explotadora.
- c) La ejecución de los procesos, que incluye las medidas y tareas necesarias para alcanzar los objetivos de la entidad explotadora.
- d) La medición, el análisis, la evaluación y la mejora, que dan una indicación de la eficacia de los procesos de gestión y el desempeño profesional con respecto a los objetivos o puntos de referencia. Las oportunidades de mejora se detectan a través de la medición, el análisis y la evaluación.

## RESPONSABILIDADES DE LA ADMINISTRACIÓN

3.7. La responsabilidad primordial de la seguridad, incluida la seguridad con respecto a la criticidad, recae en la entidad explotadora. Conforme al párrafo 4.11 de la publicación N° GSR Part 2 [6], en el sistema de gestión de una instalación de fabricación de combustible de uranio debe indicarse claramente lo siguiente:

- a) la estructura organizativa;
- b) las responsabilidades, y
- c) los niveles de autoridad.

3.8. En la documentación del sistema de gestión se deberían describir las interacciones entre las personas encargadas de gestionar y ejecutar los procesos y actividades importantes para la seguridad y evaluar su idoneidad. La documentación también debería abarcar otras medidas de gestión, como la planificación, la programación y la asignación de recursos (véase el párr. 9.9 de la publicación N° SSR-4 [1]).

3.9. En el párrafo 4.15 de la publicación N° SSR-4 [1] se dispone lo siguiente:

“[E]l sistema de gestión incluirá disposiciones que permitan establecer una comunicación eficaz y una clara asignación de las responsabilidades, con indicaciones inequívocas de las obligaciones de rendición de cuentas de los distintos cargos dentro de la entidad, así como de los suministradores, a fin de que los procesos y las actividades importantes para la seguridad se controlen y realicen de un modo que permita alcanzar los objetivos de seguridad”.

El sistema de gestión debería incluir disposiciones que faculten al personal pertinente para detener las operaciones en la instalación de fabricación de combustible de uranio que no sean seguras.

3.10. La entidad explotadora debe garantizar que se realicen y documenten evaluaciones y análisis de la seguridad, y que estos se actualicen (véanse el requisito 24 y el párr. 4.65 de 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* [11], y el requisito 5 de la publicación N° SSR-4 [1]).

3.11. Conforme al párrafo 4.2 d) de la publicación N° SSR-4 [1], la entidad explotadora debe auditar periódicamente todas las cuestiones relacionadas con la seguridad. Esta labor debería incluir el examen de las disposiciones de preparación y respuesta para casos de emergencia, como las comunicaciones de emergencia, las rutas de evacuación y la señalización. El personal encargado de la seguridad con respecto a la criticidad nuclear que haya realizado las evaluaciones de la seguridad debería efectuar controles para confirmar que los datos utilizados y la aplicación de las medidas de seguridad con respecto a la criticidad son correctos. Las auditorías deberían estar a cargo de personal independiente de quienes hayan realizado las evaluaciones de la seguridad o llevado a cabo las actividades importantes para la seguridad. Los datos de las auditorías deberían documentarse y presentarse a la administración para que, de ser necesario, esta los examine y adopte medidas.

## GESTIÓN DE LOS RECURSOS

3.12. La entidad explotadora debe aportar los recursos suficientes (tanto humanos como financieros) para la operación segura de la instalación de fabricación de combustible de uranio (véase el requisito 9 de la publicación N° GSR Part 2 [6]), incluidos recursos para mitigar las consecuencias de accidentes.

3.13. La administración de la entidad explotadora debería:

- a) determinar las competencias que se necesitan del personal e impartir capacitación, según proceda;
- b) preparar y publicar especificaciones y procedimientos sobre actividades y operaciones relacionadas con la seguridad;
- c) fomentar la realización de evaluaciones de la seguridad, incluidas modificaciones, y llevarlas a cabo;
- d) mantener contacto personal frecuente con los trabajadores, lo que incluye observar el trabajo en curso, y
- e) adoptar disposiciones para una adecuada dotación de personal<sup>3</sup>, la planificación de la sucesión y la conservación de los conocimientos institucionales.

3.14. En el requisito 58 de la publicación N° SSR-4 [1] se indica que “[I]a entidad explotadora velará por que todas las actividades que puedan afectar a la seguridad sean realizadas por personas debidamente cualificadas y competentes”.

3.15. De conformidad con el requisito 58 y los párrafos 9.38 a 9.47, la entidad explotadora debe garantizar que este personal reciba capacitación y cursos de actualización a intervalos adecuados, de acuerdo con su nivel de responsabilidad. En particular, el personal que intervenga en actividades con material fisible, material radiactivo (incluidos desechos) y sustancias químicas peligrosas debería comprender la naturaleza del peligro que plantean estos materiales y cómo se controlan los riesgos mediante las medidas de seguridad, los límites y condiciones operacionales y los procedimientos de operación establecidos.

3.16. En el requisito 11 de la publicación N° GSR Part 2 [6] se señala que “[I]a organización llegará a acuerdos con los proveedores, los contratistas y los suministradores para especificar, supervisar y gestionar el suministro que reciba de artículos, productos y servicios que pueden influir en la seguridad”. De conformidad con los párrafos 4.33 a 4.36 de la publicación N° GSR Part 2 [6], en el sistema de gestión de una instalación de fabricación de combustible de uranio se deben incluir disposiciones relativas a las adquisiciones.

---

<sup>3</sup> Incluso en situaciones en que un número elevado de miembros del personal podría no estar disponible, por ejemplo durante una epidemia o una pandemia que afecte a una zona donde el personal reside.

3.17. Conforme al párrafo 4.16 b) de la publicación N° SSR-4 [1], la entidad explotadora debe garantizar que los suministradores de elementos y recursos importantes para la seguridad dispongan de un sistema de gestión eficaz. Para cumplir estos requisitos, la entidad explotadora debería realizar auditorías de los sistemas de gestión de los suministradores.

## EJECUCIÓN DE LOS PROCESOS

3.18. En el requisito 63 de la publicación N° SSR-4 [1] se dispone lo siguiente:

**“Se elaborarán procedimientos operacionales que se apliquen a todos los aspectos de la explotación normal, los incidentes operacionales previstos y las condiciones de accidente, de conformidad con la política de la entidad explotadora y los requisitos que haya establecido el órgano regulador”.**

En el párrafo 9.66 de la publicación N° SSR-4 se indica que “[s]e elaborarán procedimientos operacionales para todas las operaciones relacionadas con la seguridad que puedan efectuarse durante toda la vida de la instalación”. Los procedimientos operacionales deberían especificar todos los parámetros que se procura controlar y los criterios que se deberían cumplir.

3.19. El sistema de gestión de una instalación de fabricación de combustible de uranio debería contemplar la gestión de la seguridad con respecto a la criticidad. En la publicación N° SSG-27 (Rev. 1) [2] se formulan más recomendaciones sobre el sistema de gestión de la seguridad con respecto a la criticidad.

3.20. Toda propuesta de modificación de las instalaciones o actividades existentes, o de introducción de nuevas actividades, debe evaluarse en función de sus consecuencias para las medidas de seguridad existentes y aprobarse debidamente antes de su aplicación (véanse los párrs. 9.57 b) y c) de la publicación N° SSR-4 [1]). Las modificaciones de importancia para la seguridad deben someterse a una evaluación de la seguridad y a un examen reglamentario y, en caso necesario, deben ser autorizadas por el órgano regulador antes de aplicarse (véanse los párrs. 9.57 h) y 9.59 de la publicación N° SSR-4 [1]). La documentación de la instalación o actividad debe actualizarse para reflejar las modificaciones (véanse los párrs. 9.57 f) y g) de la publicación N° SSR-4 [1]). El personal de operación, incluidos los supervisores, debería recibir capacitación adecuada sobre las modificaciones.

3.21. En el requisito 75 de la publicación N° SSR-4 [1] se dispone lo siguiente:

**“Las interrelaciones de la seguridad tecnológica, la seguridad física y el sistema nacional de contabilidad y control de materiales nucleares se gestionarán adecuadamente durante toda la vida de la instalación del ciclo del combustible nuclear. Las medidas de seguridad tecnológica y las medidas de seguridad física se establecerán y aplicarán de forma coordinada, de modo que no se menoscaben mutuamente”.**

Las actividades encaminadas a garantizar la seguridad durante toda la vida útil de la instalación o la duración de la actividad conciernen a diferentes grupos y se interrelacionan con otros ámbitos, como los vinculados con la seguridad física nuclear y con el sistema de contabilidad y control de material nuclear. Las actividades con estas interrelaciones deberían indicarse en el sistema de gestión, y deberían coordinarse, planificarse y llevarse a cabo de forma que se garanticen una comunicación eficaz y una clara asignación de responsabilidades. Las comunicaciones relacionadas con la seguridad tecnológica y la seguridad física deberían garantizar que se mantuviera la confidencialidad de la información. Esto incluye el sistema de contabilidad y control de material nuclear, para el cual sería preciso coordinar la seguridad física de la información de manera que no se ponga en riesgo la subcriticidad.

## MEDICIÓN, ANÁLISIS, EVALUACIÓN Y MEJORA

3.22. Las auditorías realizadas por la entidad explotadora (véase el párr. 3.11), así como un control adecuado de las modificaciones de las instalaciones y actividades (véase el párr. 3.20), son especialmente importantes para garantizar la subcriticidad. Los resultados de las auditorías deben ser evaluados por la entidad explotadora y deben adoptarse medidas correctivas cuando sea necesario (véase el párr. 4.2 d) de la publicación N° SSR-4 [1]).

3.23. Las desviaciones de los límites o condiciones operacionales, las desviaciones de los procedimientos y los cambios imprevistos en las condiciones del proceso que puedan afectar a la seguridad con respecto a la criticidad nuclear deben ser notificados e investigados de inmediato por la entidad explotadora, y esta debe informar al órgano regulador al respecto (véanse los párrs. 9.34, 9.35 y 9.38 de la publicación N° SSR-4 [1]). La profundidad y el alcance de la investigación

deberían ser proporcionales a la importancia del suceso para la seguridad, con arreglo a un enfoque graduado. La investigación debería incluir lo siguiente:

- a) un análisis de las causas de la desviación para extraer enseñanzas y determinar y aplicar medidas correctivas para evitar que se repita;
- b) un análisis del funcionamiento de la instalación o de la realización de la actividad, comprendido un análisis de los factores humanos, y
- c) un examen de la evaluación de la seguridad y de los análisis que se llevaron a cabo previamente, incluidas las medidas de seguridad que se establecieron en un principio.

3.24. En el requisito 73 de la publicación N° SSR-4 [1] se dispone que “[l]a **entidad explotadora establecerá un programa para aprender de los sucesos que ocurran en la instalación y en otras instalaciones del ciclo del combustible nuclear, así como en la industria nuclear del mundo entero**”. En la publicación *Operating Experience Feedback for Nuclear Installations (Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° SSG-50)* [12] se formulan recomendaciones sobre programas de experiencia operacional.

## VERIFICACIÓN DE LA SEGURIDAD

3.25. De conformidad con el requisito 5 de la publicación N° SSR-4 [1], la seguridad de una instalación de fabricación de combustible de uranio debe evaluarse en el análisis de la seguridad y verificarse mediante exámenes periódicos de la seguridad. La entidad explotadora debería garantizar que estos exámenes periódicos de la seguridad de la instalación formen parte integrante del sistema de gestión de la organización.

3.26. En el requisito 6 de la publicación N° SSR-4 [1] se dispone lo siguiente: “**Se establecerá un comité de seguridad (o un grupo asesor) independiente para que asesore a la administración de la entidad explotadora sobre todos los aspectos de la seguridad de la instalación del ciclo del combustible nuclear**”.

3.27. El comité de seguridad de una instalación de fabricación de combustible de uranio debería tener acceso a especialistas en materia de seguridad con respecto a la criticidad y de protección radiológica, que deberían estar a disposición de la instalación en todo momento durante su funcionamiento.

## 4. EVALUACIÓN DEL EMPLAZAMIENTO DE INSTALACIONES DE FABRICACIÓN DE COMBUSTIBLE DE URANIO

4.1. El proceso de evaluación de un emplazamiento de una instalación de fabricación de combustible de uranio dependerá de un gran número de variables. En la etapa inicial de planificación de una instalación se debería preparar una lista de estas variables, que deberían considerarse en función de su importancia para la seguridad. Es probable que los riesgos derivados de posibles peligros externos importantes (por ejemplo, terremotos, incendios, accidentes aéreos, explosiones cercanas, inundaciones, condiciones meteorológicas extremas) prevalezcan en el proceso de evaluación de un emplazamiento y deberían tenerse en cuenta en el diseño de la instalación. Los requisitos para la evaluación del emplazamiento de instalaciones de fabricación de combustible de uranio se establecen en la publicación *Evaluación del emplazamiento de instalaciones nucleares (Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° SSR-1)* [13], y en la publicación *Site Survey and Site Selection for Nuclear Installations (Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° SSG-35)* [14] se formulan recomendaciones adicionales.

4.2. El alcance de la evaluación del emplazamiento de una instalación de fabricación de combustible de uranio se establece en el requisito 3 de la publicación N° SSR-1 [13] y en el requisito 11 y los párrafos 5.1 a 5.14 de la publicación N° SSR-4 [1], y debería reflejar los peligros específicos que se enumeran en la sección 2 de la presente Guía de Seguridad.

4.3. La densidad de población y la distribución de la población en las proximidades de una instalación de fabricación de combustible de uranio deben tenerse en cuenta en el proceso de evaluación de un emplazamiento a fin de reducir al mínimo las posibles consecuencias para la salud de las personas en caso de emisión de material radiactivo o sustancias químicas peligrosas (véanse los requisitos 4 y 12 de la publicación N° SSR-1 [13]). Asimismo, de conformidad con el requisito 25 y los párrafos 6.1 y 6.2 de la publicación N° SSR-1 [13], debe valorarse la dispersión en el aire y el agua del material radiactivo emitido desde la instalación de fabricación de combustible de uranio, teniendo en cuenta la orografía, la cubierta terrestre y las características meteorológicas de la región. Es necesario evaluar el impacto de la instalación, en todos sus estados, en el medio ambiente (véase el párr. 5.3 de la publicación N° SSR-4 [1]), que debería ajustarse a los criterios aplicables.

4.4. Al seleccionar el emplazamiento de una instalación de fabricación de combustible de uranio se deben tener en cuenta las orientaciones sobre seguridad física (véase el párr. 11.4 de la publicación N° SSR-4 [1]). La selección de un emplazamiento debería tener en cuenta los aspectos tanto de seguridad tecnológica como de seguridad física y debería ser facilitada por especialistas en seguridad tecnológica y especialistas en seguridad física.

4.5. La entidad explotadora debería mantener un registro completo de las decisiones tomadas respecto de la selección de un emplazamiento para una instalación de fabricación de combustible de uranio y de las razones que motivaron esas decisiones.

4.6. Las características del emplazamiento deberían examinarse periódicamente para verificar su adecuación y su aplicabilidad continua durante la vida útil de una instalación de fabricación de combustible de uranio. Cualquier cambio en estas características que pudiera requerir una reevaluación de la seguridad debería indicarse y evaluarse (véase el párr. 5.14 de la publicación N° SSR4 [1]). Esto incluye, por ejemplo, un aumento de la capacidad de producción por encima de los límites originales.

## **5. DISEÑO DE LAS INSTALACIONES DE FABRICACIÓN DE COMBUSTIBLE DE URANIO**

### **FUNCIONES DE SEGURIDAD**

5.1. En el requisito 7 de la publicación N° SSR-4 [1] se dispone lo siguiente:

**“El diseño se realizará de tal modo que en todos los estados de la instalación del ciclo del combustible nuclear se cumplan las siguientes funciones principales de seguridad:**

- a) confinamiento y enfriamiento de los materiales radiactivos y los materiales nocivos conexos;**
- b) protección contra la exposición a la radiación;**
- c) mantenimiento de la subcriticidad de los materiales fisibles”.**

Estas funciones de seguridad son aplicables a las instalaciones de fabricación de combustible de uranio, excepto en lo que respecta al enfriamiento de material radiactivo.

5.2. Los requisitos de protección contra la exposición interna a la radiación se establecen en el requisito 34 y en los párrafos 6.120 a 6.122 de la publicación N° SSR-4 [1].

5.3. Los requisitos de confinamiento del material radiactivo y los materiales peligrosos conexos se establecen en el requisito 35 y en los párrafos 6.123 a 6.128 de la publicación N° SSR-4 [1].

5.4. Los requisitos de protección contra la exposición externa a la radiación se establecen en el requisito 36 y en los párrafos 6.129 a 6.134 de la publicación N° SSR-4 [1]. Deberían contemplarse medidas de protección para los procesos o las zonas de las instalaciones de fabricación de combustible de uranio en los que podrían intervenir fuentes que emitan niveles elevados de radiación gamma, como el uranio reprocesado o cilindros recién vaciados (por ejemplo, exposición a productos de desintegración del  $^{232}\text{U}$  y el  $^{238}\text{U}$ ).

5.5. Los requisitos de mantenimiento de la subcriticidad se establecen en el requisito 38 y en los párrafos 6.138 a 6.156 de la publicación N° SSR-4 [1]. En la sección 3 de la publicación N° SSG-27 (Rev. 1) [2] se ofrecen más recomendaciones sobre el mantenimiento de la subcriticidad de las instalaciones de fabricación de combustible de uranio.

### **Base de diseño y análisis de la seguridad**

5.6. Un accidente base de diseño es un accidente postulado que da lugar a condiciones de accidente previstas en el diseño de la instalación con arreglo a los criterios de diseño establecidos y a una metodología conservadora, y en que las emisiones de materiales radiactivos se mantienen dentro de límites aceptables [1].

5.7. Los requisitos de seguridad relativos a la base de diseño de los elementos importantes para la seguridad y al análisis de la base de diseño de una instalación del ciclo del combustible nuclear se establecen en los requisitos 14 y 20 de la publicación N° SSR-4 [1], respectivamente.

5.8. La especificación de una base de diseño (o un instrumento equivalente) dependerá del diseño de la instalación, de la selección de un emplazamiento para la instalación y de los requisitos reglamentarios. Sin embargo, en la especificación

del análisis de la seguridad de la base de diseño para las instalaciones de fabricación de combustible de uranio se debería prestar especial atención a los siguientes peligros:

- a) emisión de uranio, por ejemplo, como consecuencia de una explosión en una vasija de reacción;
- b) emisión de  $UF_6$ , por ejemplo, como consecuencia de la rotura de un cilindro caliente;
- c) emisión de HF, por ejemplo, como consecuencia de la rotura de un tanque de almacenamiento, y
- d) peligros internos y externos, como explosiones internas y externas (en particular, explosiones de hidrógeno), incendios internos y externos, caída de cargas y errores de manipulación, fenómenos meteorológicos extremos (en particular, terremotos, inundaciones y tornados) y accidentes aéreos.

5.9. Estos peligros revisten una gran importancia para la seguridad, ya que pueden dar origen a consecuencias químicas y radiológicas para el personal del emplazamiento. Además, también podrían entrañar consecuencias adversas fuera del emplazamiento para el público o el medio ambiente.

5.10. Los peligros que se enumeran en el párrafo 5.8 podrían materializarse como consecuencia de un suceso iniciador postulado. En el apéndice de la publicación N° SSR-4 [1] figura una selección de sucesos iniciadores postulados para las instalaciones del ciclo del combustible nuclear.

### **Estructuras, sistemas y componentes importantes para la seguridad**

5.11. En el párrafo 6.21 de la publicación N° SSR-4 [1] se dispone lo siguiente:

“En el diseño de la instalación del ciclo del combustible nuclear se cumplirá lo siguiente:

[...]

- e) Se preverán sistemas, estructuras y componentes, así como procedimientos, para controlar la progresión de los fallos o las desviaciones del funcionamiento normal que rebasen la capacidad de los sistemas de seguridad y limitar sus consecuencias, en la medida de lo posible”.

En el anexo II de esta Guía de Seguridad figuran ejemplos de estructuras, sistemas y componentes importantes para la seguridad y sucesos representativos que podrían poner en peligro las correspondientes funciones de seguridad en las instalaciones de fabricación de combustible de uranio.

### **Confinamiento de material radiactivo y material químico tóxico**

5.12. Para cumplir los requisitos 34 y 42 de la publicación N° SSR-4 [1] sobre protección contra la exposición interna a la radiación y contra peligros relacionados con productos químicos tóxicos, el uso y el inventario de  $UF_6$  en forma dispersable en la instalación deberían mantenerse en los mínimos posibles.

5.13. Las instalaciones de fabricación de combustible de uranio deben diseñarse para reducir al mínimo, en la medida de lo posible, la contaminación de la instalación y las emisiones de material radiactivo al medio ambiente, así como para facilitar la descontaminación y, llegado el momento, la clausura de la instalación (véanse los requisitos 24, 25 y 33 de la publicación N° SSR-4 [1]).

5.14. El uso de un sistema de contención adecuado debería ser el método principal de protección contra la dispersión de la contaminación procedente de zonas en las que se manipulen cantidades considerables de uranio en polvo o sustancias peligrosas en forma dispersable (véase el requisito 35 de la publicación N° SSR-4 [1]). Cuando sea posible, y para mejorar la eficacia del sistema de contención estático (barreras físicas), debería utilizarse un sistema de contención dinámico para crear gradientes de presión que generen un flujo de aire hacia las partes del equipo o las zonas más contaminadas. De este modo, se puede crear una cascada de presiones absolutas reductoras entre el entorno fuera del edificio y el material peligroso dentro de él.

5.15. En el diseño de los sistemas de ventilación y contención de la instalación de fabricación de combustible de uranio, deberían tenerse en cuenta criterios como los siguientes: i) la diferencia de presión deseada entre las distintas partes de los locales; ii) la tasa de renovación del aire en la instalación; iii) los tipos de filtros que se utilizarán; iv) la diferencia de presión máxima entre los filtros; v) la velocidad de flujo apropiada en las aberturas de los sistemas de ventilación y contención (por ejemplo, la velocidad frontal en la abertura de los recintos); vi) la tasa de dosis en los filtros; vii) la posible acumulación de materiales fisibles nucleares en los elementos de ventilación (filtros, conductos de ventilación); viii) la humedad y el potencial de humedad en el sistema de ventilación, y ix) las estrategias de mantenimiento predictivo y preventivo. Además, debería considerarse la posible

generación de humo en caso de incendio, que podría plantear exigencias diferentes al sistema de ventilación.

5.16. Para evitar la propagación de un incendio a través de los conductos de ventilación y mantener la integridad de los cortafuegos, los sistemas de ventilación deberían estar equipados con válvulas cortafuegos y estar contruidos con materiales no inflamables y no corrosivos.

5.17. La protección contra los peligros químicos debería incluir el control de cualquier vía de entrada de sustancias químicas en el lugar de trabajo y en el medio ambiente.

### *Protección de los trabajadores*

5.18. Los requisitos de diseño de las instalaciones de fabricación de combustible de uranio para garantizar la protección radiológica de los trabajadores se establecen en el requisito 8 de la publicación N° SSR-4 [1].

5.19. Las instalaciones de fabricación de combustible de uranio deben diseñarse con sistemas de ventilación y contención de tamaño apropiado en las zonas de la instalación en que se considere probable que se concentren cantidades importantes de material radiactivo en suspensión en el aire y otros materiales peligrosos (véase el párr. 6.126 de la publicación N° SSR-4 [1]). El sistema de ventilación debería utilizarse como un medio para reducir al mínimo la exposición de los trabajadores a la radiación y la exposición a materiales peligrosos que pudieran quedar suspendidos en el aire y, por lo tanto, pudieran ser inhalados por los trabajadores. Cuando sea posible, los equipos de ventilación deberían estar dispuestos de tal manera que el flujo de aire esté alejado de los puestos de trabajo del personal y de las rutas de evacuación de este.

5.20. Para lograr un funcionamiento normal, es preciso evitar la necesidad de utilizar equipo de protección respiratoria mediante un diseño cuidadoso de los sistemas de contención y ventilación (fijos y portátiles) (véase el párr. 9.100 de la publicación N° SSR-4 [1]). Por ejemplo, debería utilizarse una caja de guantes, una capucha o un dispositivo especial para garantizar la continuidad de la primera barrera de confinamiento en lugar de depender de la necesidad de protección respiratoria.

5.21. En las zonas donde podría haber uranio suspendido en el aire en forma de partículas, los filtros primarios deberían situarse lo más cerca posible de la fuente de contaminación. Al diseñar los sistemas de ventilación, debería velarse

por evitar la deposición no deseada de uranio que podría ocurrir debido a una velocidad de aire insuficiente o a la existencia de zonas de acumulación en los conductos. Deberían preverse medios de vigilancia periódica en las zonas en las que podría acumularse contaminación aérea y deberían utilizarse varios filtros en serie para evitar depender de un solo filtro. Además, deberían instalarse filtros o ventiladores de servicio y de reserva para garantizar el funcionamiento continuo de los sistemas de ventilación. Si no se dispone de ambos tipos de filtros o ventiladores, debería garantizarse que el fallo del ventilador o filtro de servicio provoque la parada segura del equipo en la zona afectada. En la medida de lo posible, solo se debería depender de un único filtro (por ejemplo, mientras se realiza el mantenimiento o la sustitución de otros filtros) durante la parada de los procesos principales de la instalación.

5.22. Deberían instalarse equipos de monitorización, como manómetros diferenciales (en los filtros, entre las salas o entre una caja de guantes y la sala en la que se encuentra) y dispositivos para medir el uranio o las concentraciones de sustancias peligrosas en forma gaseosa en los sistemas de ventilación, según sea necesario. Asimismo, también según sea necesario, deberían preverse medios para monitorizar zonas del sistema de ventilación a fin de detectar acumulaciones no deseadas de material radiactivo o fisible.

5.23. Deberían instalarse sistemas de alarma sonora para alertar a los operadores de fallos en los ventiladores y de presiones diferenciales altas o bajas entre los filtros. En la etapa de diseño, también es necesario prever la instalación de equipos para monitorizar la concentración de uranio suspendido en el aire o la concentración de gases (véase el párr. 6.120 de la publicación N° SSR-4 [1]). Deberían elegirse como puntos de monitorización los que se correspondan con mayor exactitud a la exposición del personal y reduzcan al mínimo el tiempo de detección de cualquier fuga (véase el párr. 6.121 de la publicación N° SSR-4 [1]).

5.24. Para facilitar la descontaminación y la clausura de la instalación, sería preciso que las paredes, los suelos y los techos de las zonas de la instalación de fabricación de combustible de uranio donde es probable que haya contaminación fueran no porosos y fáciles de limpiar. Esto puede lograrse aplicando a las superficies revestimientos especiales, como resina epoxi. Además, todas las superficies que pudieran contaminarse deberían ser fácilmente accesibles para poder ser periódicamente descontaminadas si fuera necesario.

## *Protección del público y el medio ambiente*

5.25. En el párrafo 3.9 de la publicación *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)* [15] se dispone lo siguiente:

“Toda persona u organización que solicite una autorización

[...]

- e) 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”.

En la publicación *Prospective Radiological Environmental Impact Assessment for Facilities and Activities (Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GSG-10)* [16] se formulan más recomendaciones para realizar la evaluación del impacto ambiental de las instalaciones de fabricación de combustible de uranio.

5.26. Se debería prever en el diseño la monitorización adecuada de la fuente de emisiones (emisiones gaseosas y efluentes líquidos), así como la monitorización del entorno receptor en torno a la instalación. También se debería prever en el diseño la detección de roturas para confirmar que no se vulneren las barreras de confinamiento y que el impacto en el medio ambiente y el público se ajuste a los límites autorizados.

5.27. La dispersión no controlada de sustancias radiactivas en el medio ambiente como consecuencia de un accidente puede producirse si todas las barreras de confinamiento están dañadas. Las barreras pueden estar constituidas por los equipos de proceso, la sala o el propio edificio.

5.28. La ventilación de los sistemas de contención mediante la descarga de gases de escape a través de una chimenea utilizando un equipo de limpieza de gases, como un filtro, reduce a niveles muy bajos las descargas normales de material radiactivo en el medio ambiente. En estos casos, el sistema de ventilación también puede considerarse una barrera de confinamiento. El número de barreras físicas de confinamiento debería adaptarse a la importancia del peligro para la seguridad. De conformidad con el principio de redundancia, el número mínimo de barreras es de dos (véase el requisito 23 de la publicación N° SSR-4 [1]). El número óptimo preferido de barreras suele ser tres.

## **Protección contra la exposición externa**

5.29. Los requisitos relativos a las disposiciones de diseño para la protección contra la exposición externa a la radiación se establecen en el requisito 36 y en los párrafos 6.129 a 6.134 de la publicación N° SSR-4 [1].

5.30. La exposición externa de los trabajadores debería controlarse mediante una combinación adecuada de requisitos de distancia, tiempo y blindaje. En las zonas utilizadas para almacenar cilindros, en particular cilindros vacíos que hayan contenido uranio reprocesado, debería considerarse la instalación de blindaje o el establecimiento de restricciones de ocupación, ya que algunos subproductos de la irradiación habrán permanecido en el cilindro. Deberían tomarse precauciones similares en las zonas de la instalación donde el uranio tenga una densidad elevada específica y donde haya cantidades significativas de uranio (por ejemplo, en las zonas de almacenamiento de pastillas y combustible).

5.31. Cuando el dióxido de uranio sea de baja densidad (como en las unidades de conversión o mezcla, por ejemplo), el blindaje que proporcionan los recipientes y las tuberías de la instalación de fabricación de combustible de uranio normalmente será suficiente para controlar la exposición.

5.32. Cuando se procesa uranio reprocesado, deberían contemplarse medidas de protección del personal adicionales debido a las mayores tasas de dosis de radiación gamma procedente de los productos de desintegración del  $^{232}\text{U}$  ( $^{208}\text{Tl}$  y  $^{212}\text{Bi}$ ) y los productos de fisión residuales. Estas medidas pueden incluir disposiciones administrativas que establezcan límites en relación con el período durante el cual se almacena uranio en el emplazamiento, la cantidad de uranio almacenado o la instalación de blindaje.

## **Prevención de la criticidad nuclear**

5.33. La prevención de la criticidad nuclear es un tema importante del que se desprenden varios aspectos que han de tenerse en cuenta durante el diseño de una instalación de fabricación de combustible de uranio (véase el requisito 38 de la publicación N° SSR-4 [1]). En los párrafos 5.34 a 5.40 se ofrecen recomendaciones sobre algunos de los elementos principales de seguridad con respecto a la criticidad específicos de las instalaciones de fabricación de combustible de uranio. En la publicación N° SSG-27 (Rev. 1) [2] se formulan recomendaciones más detalladas sobre la seguridad con respecto a la criticidad.

5.34. Si una instalación de fabricación de combustible procesa uranio con una fracción másica de  $^{235}\text{U}$  inferior al nivel que cumple los criterios de exención especificados por el órgano regulador o convenidos con él no es necesaria una evaluación completa de la seguridad con respecto a la criticidad (véase el párr. 6.138 de la publicación N° SSR-4 [1]). En esos casos debería demostrarse que no existe una secuencia de fallos verosímil en la que en el proceso se introduzca uranio con un enriquecimiento en  $^{235}\text{U}$  superior al 1 %. Para consultar más recomendaciones, véanse los párrafos 2.13 a 2.16 de la publicación N° SSG-27 (Rev. 1) [2].

5.35. En los párrafos 6.138 a 6.148 de la publicación N° SSR-4 [1] se establecen requisitos aplicables a la prevención de la criticidad mediante el diseño. Para la prevención de la criticidad en una instalación de fabricación de combustible de uranio, los siguientes parámetros deberían estar sujetos a control:

- a) La masa y los niveles de enriquecimiento del material fisible presente en un proceso y en almacenamiento entre procesos (por ejemplo, polvo de uranio en salas y depuradores de recipientes, pastillas en almacenamiento).
- b) La geometría e interacción de los equipos de procesamiento. El control puede lograrse limitando las dimensiones o la forma (por ejemplo, mediante diámetros seguros para los recipientes de almacenamiento, control de las losas, distancias de separación adecuadas entre los contenedores almacenados). También debería tenerse en cuenta la pérdida de confinamiento o geometría debida a fugas o roturas.
- c) La concentración de material fisible en soluciones (por ejemplo, en el proceso en húmedo de reciclado de uranio).
- d) La presencia de reflectores o absorbentes de neutrones adecuados (por ejemplo, en la construcción de zonas de almacenamiento, bidones para polvo y contenedores de transporte de combustible).
- e) El grado de moderación. Esto puede lograrse, por ejemplo, controlando los niveles de humedad y la cantidad de aditivos en polvo.

5.36. En el párrafo 6.138 de la publicación SSR-4 [1] se establece lo siguiente (se omite la nota de pie de página):

“En las zonas de la instalación en que la cantidad de materiales fisibles sea tan baja, o la composición isotópica sea tal, que se cumplan los criterios de exención especificados por el órgano regulador o convenidos con él, no será necesaria una evaluación completa de la seguridad con respecto a la criticidad. En todos los demás casos, la seguridad con respecto a la criticidad se garantizará con medidas preventivas que se establecerán en el diseño en la medida en que sea razonablemente factible. En este contexto, la zona

sometida a control de la criticidad podrá ser una cascada de enriquecimiento completa, un edificio o todo el emplazamiento”.

En el caso de las instalaciones de fabricación de combustible de uranio, en la medida de lo posible, los recipientes que podrían contener material fisible deberían tener una geometría favorable y diseñarse para el nivel máximo de enriquecimiento autorizado, contemplando un margen de seguridad razonable.

5.37. El análisis de la seguridad con respecto a la criticidad debería demostrar que el diseño de los equipos y las medidas de seguridad correspondientes son tales que los valores de los parámetros controlados se mantienen siempre en el rango subcrítico (es decir, que la instalación se encuentra en todo momento en estado subcrítico). Eso se debería lograr determinando el factor de multiplicación efectivo de neutrones ( $k_{ef}$ ), que depende de la masa, la geometría, la distribución y las propiedades nucleares del material fisionable y de todos los demás materiales con los que esté asociado. El valor calculado de  $k_{ef}$  (incluidas todas las incertidumbres y sesgos) debería compararse posteriormente con el valor especificado por el límite de diseño (que debería fijarse conforme a los párrs. 2.8 a 2.12 de la publicación N° SSG-27 (Rev. 1) [2]).

5.38. Para realizar el análisis de la seguridad con respecto a la criticidad pueden utilizarse varios métodos muy diferentes en cuanto a su base y forma, como el uso de datos experimentales, libros de referencia o normas consensuadas, cálculos manuales y cálculos realizados mediante códigos informáticos deterministas o probabilísticos. Para consultar recomendaciones más exhaustivas sobre la realización de una evaluación de la seguridad con respecto a la criticidad, incluidas recomendaciones sobre la validación de códigos informáticos, véase la sección 4 de la publicación N° SSG-27 (Rev. 1) [2].

5.39. El análisis de la seguridad con respecto a la criticidad debería contemplar lo siguiente:

- a) El empleo de un enfoque conservador, teniendo en cuenta:
  - i) las incertidumbres en los parámetros físicos y la posibilidad física de que se den las peores condiciones de moderación, así como la posibilidad de distribuciones no-homogéneas de moderadores;
  - ii) la configuración geométrica óptima de un sistema con material fisible;
  - iii) los incidentes operacionales probables y sus combinaciones si no se puede demostrar que son independientes, y
  - iv) los estados operacionales que podrían deberse a peligros externos.

- b) El uso de códigos informáticos adecuados que hayan sido verificados y validados, y validados a su vez con las correspondientes bibliotecas de datos de secciones eficaces de reacciones nucleares, en relación con las condiciones normales y anormales verosímiles objeto de análisis, teniendo en cuenta al mismo tiempo cualquier sesgo y sus incertidumbres (véanse los párrs. 4.22 a 4.29 de la publicación N° SSG-27 (Rev. 1) [2]).

5.40. En el ámbito de un análisis de subcriticidad de una instalación de fabricación de combustible de uranio deberían incluirse los siguientes parámetros (véase el párr. 6.144 de la publicación N° SSR-4 [1]):

- a) Enriquecimiento. Debería tenerse en cuenta la posibilidad de incertidumbres en el cálculo del enriquecimiento de uranio de un material fisible si el nivel máximo de enriquecimiento autorizado no se utiliza en el análisis de la seguridad con respecto a la criticidad (véase el párr. 5.38).
- b) Masa. El margen de masa debería ser suficiente para compensar la posible sobrecarga del lote de uranio en condiciones normales de funcionamiento (véase también el párr. 3.18 de la publicación N° SSG-27 (Rev. 1) [2]).
- c) Geometría del equipo de procesamiento. Debe tenerse en cuenta la posibilidad de que se produzcan cambios en las dimensiones (por ejemplo, deformación de los tanques de placas o las tolvas de losa) durante el funcionamiento, de conformidad con el párr. 6.144 de la publicación N° SSR-4 [1]).
- d) Concentración y densidad. El análisis debería abarcar: i) diversas concentraciones de uranio para las soluciones, y ii) diversas densidades de polvo y pastillas más moderadores para los sólidos, con el fin de determinar las condiciones más reactivas que podrían darse.
- e) Moderación. El análisis debería contemplar la presencia de moderadores que suelen encontrarse en las instalaciones de fabricación de combustible de uranio, como agua, petróleo y otras sustancias hidrogenadas (por ejemplo, aditivos para el polvo de dióxido de uranio), o que podrían encontrarse en condiciones de accidente (por ejemplo, agua de extinción de incendios). Debería prestarse especial atención a los casos de moderación no homogénea (por ejemplo, cuando se incluyen aditivos en el polvo de dióxido de uranio).
- f) Reflexión. Debería seleccionarse el margen más conservador de entre los márgenes que se derivan de diferentes hipótesis, como i) un espesor hipotético de agua alrededor de la unidad de procesamiento y ii) la consideración del efecto de reflexión de neutrones debido a la presencia de materiales alrededor de la unidad de procesamiento (por ejemplo, cuerpos humanos, materiales orgánicos, madera, hormigón, acero del contenedor). Deberían tenerse en cuenta los materiales que puedan dar lugar a un aumento mayor del factor de multiplicación de neutrones que con la reflexión del

agua (por ejemplo, suelo o paredes de hormigón); véase el párrafo 3.22 de la publicación N° SSG-27 (Rev. 1) [2].

- g) Interacción de neutrones. Debería tenerse en cuenta la interacción de neutrones entre todas las partes de la instalación. Esto incluye la distancia mínima de las unidades móviles que contienen uranio (por ejemplo, bidones) y los medios artificiales para garantizar que exista la distancia mínima entre los equipos que contienen uranio.
- h) Absorbentes de neutrones. Entre los absorbentes de neutrones que pueden utilizarse en las instalaciones de fabricación de combustible de uranio figuran el cadmio, el boro, el gadolinio y el policloruro de vinilo (PVC) utilizados en estructuras tipo “araña” dentro de bidones de polvo; placas en las zonas de almacenamiento de pastillas o conjuntos combustibles, y anillos de vidrio de borosilicato (anillos de Raschig) en tanques para líquidos. En el análisis deberían considerarse los efectos de la retirada involuntaria de los absorbentes de neutrones. La presencia y la eficacia de los absorbentes deberían verificarse periódicamente y antes de la carga del lote en los contenedores o recipientes que dependan de dichos absorbentes. Entre los parámetros relacionados con los absorbentes figuran el espesor, la densidad y la composición de nucleidos tanto del material absorbente como del material hidrogenado utilizado para aumentar su eficacia de absorción, si procede.

## SUCESOS INICIADORES POSTULADOS

5.41. En el párrafo 6.60 de la publicación N° SSR-4 [1] se indica que “[s]obre la base de la lista de peligros internos y externos, incluidos los de origen humano (véanse los requisitos 15 y 16) se seleccionarán los sucesos iniciadores que se deban analizar con más detalle”. En los párrafos 5.42 a 5.88 se formulan recomendaciones sobre los peligros internos y externos previsibles en las instalaciones de fabricación de combustible de uranio.

### **Peligros internos**

#### *Incendios y explosiones*

5.42. Para dar cumplimiento al requisito 22 y los requisitos establecidos en los párrafos 6.77 a 6.79 de la publicación N° SSR-4 [1] es necesario realizar un análisis de incendios y explosiones en relación con las instalaciones de fabricación de combustible de uranio.

5.43. Un incendio en las instalaciones de fabricación de combustible de uranio podría provocar la dispersión de material radiactivo o material tóxico al romper las barreras de confinamiento, o podría causar un accidente de criticidad al afectar el sistema o los parámetros utilizados para el control de la criticidad (por ejemplo, el sistema de control de moderación o las dimensiones del equipo de procesamiento). Debería prestarse especial atención a los medios de extinción de incendios utilizados y a su posible efecto moderador. Los medios de extinción de incendios y la seguridad de su uso deben abordarse desde el punto de vista de la seguridad con respecto a la criticidad.

5.44. En la fase de diseño de una instalación de fabricación de combustible de uranio deberían tenerse debidamente en cuenta los peligros de incendio que se dan específicamente en ella, como los debidos a los disolventes y diluyentes de hidrocarburos, el peróxido de hidrógeno, el amoníaco anhidro (que es explosivo e inflamable), el ácido sulfúrico o el ácido nítrico (que suponen un peligro de ignición por la reacción con materiales orgánicos), el circonio (un metal combustible, especialmente en forma de polvo o virutas) y el hidrógeno. Debería considerarse la posibilidad de utilizar equipos especializados para detectar incendios de hidrógeno, y en el diseño de las tuberías de hidrógeno deberían evitarse las juntas propensas a fallos. Para la extinción de incendios metálicos, debería contemplarse el uso de equipos de extinción adecuados.

#### Análisis del peligro de incendio

5.45. Como aspecto importante del análisis del peligro de incendio de una instalación de fabricación de combustible de uranio, deberían indicarse las zonas de la instalación que deben tenerse en cuenta. Deberían realizarse análisis del peligro de incendio de la instalación para todas las zonas con fuentes de incendio de alto riesgo, como las zonas donde se encuentran los difusores, las zonas con materiales combustibles (incluidos cables de baja tensión) y los locales donde hay instalados equipos de seguridad. Se debería tener especialmente en cuenta lo siguiente:

- a) los procesos que utilicen hidrógeno, como la conversión, la sinterización y la reducción de óxido de uranio;
- b) los procesos que requieran circonio en forma de polvo o el tratamiento mecánico de metal de circonio;
- c) talleres como el de reciclado y laboratorios donde se utilicen líquidos inflamables o líquidos combustibles en procesos como la extracción con disolventes;

- d) el almacenamiento de productos químicos reactivos (por ejemplo, amoníaco, ácido sulfúrico, ácido nítrico, peróxido de hidrógeno, formadores de poros, lubricantes);
- e) las zonas con gran carga de fuego, como las zonas de almacenamiento de desechos;
- f) las zonas de tratamiento de desechos;
- g) las salas que albergan equipos relacionados con la seguridad (por ejemplo, elementos como sistemas de filtrado de aire, cuyo daño podría tener consecuencias radiológicas que se consideran inaceptables);
- h) las salas de control;
- i) el impacto de un incendio en un cilindro de UF<sub>6</sub> sólido, y
- j) los vehículos como los transportadores de cilindros de UF<sub>6</sub> y las carretillas elevadoras que utilizan combustible de hidrocarburos.

5.46. El análisis del peligro de incendio de las instalaciones de fabricación de combustible de uranio debería incluir la determinación de las causas de incendio, la evaluación de las posibles consecuencias de los incendios y, cuando proceda, una estimación de la frecuencia o la probabilidad de que estos se produzcan. Este análisis debería utilizarse para evaluar el inventario de combustibles y fuentes de iniciación, así como para determinar la pertinencia e idoneidad de las medidas de protección contra incendios. En ocasiones, puede recurrirse a la modelización de incendios por computadora en apoyo del análisis del peligro de incendio.

5.47. La estimación de la probabilidad de que se produzcan incendios puede servir de base para tomar decisiones o detectar deficiencias que, de otro modo, pasarían desapercibidas. Aunque la probabilidad estimada pueda parecer baja, un incendio podría tener consecuencias importantes para la seguridad y, por ello, deberían adoptarse ciertas medidas de protección, como delimitar pequeñas zonas de incendio, para evitarlos o frenar su propagación.

5.48. El análisis de los peligros de incendio también debería incluir un examen de las disposiciones adoptadas en la etapa de diseño para prevenir, detectar y mitigar los incendios.

#### Prevención, detección y mitigación de incendios

5.49. La prevención es el aspecto más importante de la protección contra incendios. Las instalaciones deberían diseñarse para limitar los riesgos de incendio, incorporando medidas que garanticen que estos no se produzcan. Deberían establecerse medidas de mitigación para reducir al mínimo las consecuencias de un incendio en caso de que ocurriera.

5.50. Para cumplir el doble objetivo de prevención y mitigación de incendios deberían adoptarse una serie de medidas generales y específicas, entre las que figuran las siguientes:

- a) Separar las zonas de almacenamiento de materiales peligrosos no radiactivos de las zonas del proceso.
- b) Reducir al mínimo la carga de fuego de cada sala.
- c) Seleccionar los materiales, incluidos los de estructuras civiles y muros compartimentados, penetraciones y cables asociados a estructuras, sistemas y componentes importantes para la seguridad, de acuerdo con los criterios funcionales y los índices de resistencia al fuego.
- d) Compartimentar los edificios y los conductos de ventilación, en la medida de lo posible, para evitar la propagación de incendios. Los edificios deberían dividirse en zonas de incendio. Deberían establecerse medidas para impedir o reducir drásticamente la capacidad de propagación del fuego y el humo fuera de la zona de incendio en la que se produce el incendio. Cuanto mayor sea el riesgo de incendio, mayor es el número de zonas de incendio que un edificio debería tener.
- e) Suprimir o limitar el número de posibles fuentes de ignición, como llamas expuestas o chispas eléctricas.

5.51. En el párrafo 6.79 de la publicación N° SSR-4 [1] se establecen los requisitos para el análisis en relación con los sistemas de extinción de incendios. En las zonas donde pueda iniciarse un incendio deberían instalarse dispositivos de extinción de incendios, automáticos o manuales, con agentes extintores adecuados. En particular, debería estudiarse cuidadosamente la posibilidad de instalar dispositivos automáticos de extinción de incendios con rociadores de agua en las zonas en las que pueda haber uranio, teniendo en cuenta el potencial de criticidad. Debería atenderse también a la recogida y el tratamiento del agua utilizada para extinguir incendios.

5.52. Debería instalarse un sistema de detección o extinción acorde a los riesgos de incendios y explosiones internos y que cumpla los requisitos nacionales.

5.53. En el diseño de los sistemas de ventilación debería tenerse especialmente en cuenta la prevención de incendios. Los sistemas de contención dinámicos constan de conductos de ventilación y unidades de filtrado que, a menos que tengan un diseño adecuado, podrían constituir puntos débiles del sistema de protección contra incendios. Salvo que la probabilidad de incendios generalizados sea aceptablemente baja, deberían montarse válvulas cortafuegos en el sistema de ventilación. De ser necesario, deberían utilizarse amortiguadores de chispas

para proteger los filtros. El comportamiento operacional requerido del sistema de ventilación debería especificarse para cumplir los requisitos de protección contra incendios.

5.54. Las líneas que cruzan los límites entre zonas de incendio (por ejemplo, líneas de transmisión eléctrica, de gas y de procesos) deberían diseñarse de forma que frenen la propagación del incendio.

### *Explosiones*

5.55. Una explosión puede ser inducida por un incendio o puede ser el suceso iniciador de un incendio. Las explosiones podrían romper las barreras de confinamiento o afectar a las medidas de seguridad establecidas para prevenir un accidente de criticidad.

5.56. Entre las posibles fuentes de explosión en las instalaciones de fabricación de combustible de uranio figuran las siguientes:

- a) gases (por ejemplo, el hidrógeno utilizado en el proceso de conversión y en los hornos de sinterización, gas de calefacción, gas amoníaco craqueado que contenga una mezcla de hidrógeno y nitrógeno);
- b) compuestos químicos como el nitrato de amonio utilizados en los talleres de reciclado, y
- c) subproductos como el aceite rojo, que podría generarse en el proceso de extracción con disolventes.

5.57. Para mitigar el riesgo de explosiones, debería considerarse el uso de una atmósfera de gas inerte o sistemas de dilución y la capacidad de los componentes del sistema para resistir explosiones (por ejemplo, explosiones en hornos de sinterización). Los sistemas de reciclado deberían vigilarse periódicamente para evitar la deposición de nitrato de amonio. En zonas con atmósferas potencialmente explosivas, la red y los equipos eléctricos deberían protegerse de conformidad con los requisitos nacionales.

### *Inundaciones*

5.58. La inundación de una instalación de fabricación de combustible de uranio podría provocar la dispersión de material radiactivo y modificar las condiciones de moderación. Las inundaciones pueden provocar fallos en los recipientes, tuberías y equipos debido a su flotabilidad, con la consiguiente pérdida de confinamiento.

5.59. En las instalaciones en las que haya recipientes o tuberías que contengan agua, los análisis de criticidad deberían tener en cuenta la presencia de la cantidad máxima de agua que podría contener la sala en cuestión, así como la cantidad máxima de agua en cualquier sala conectada. Esas salas o locales deberían señalizarse de forma clara y se debería informar al personal al respecto.

5.60. Las paredes (y los suelos, de ser necesario) de las salas donde pueda producirse una inundación deberían poder soportar la carga de agua, y los equipos relacionados con la seguridad no deberían verse afectados por la inundación.

### *Fugas y vertidos*

5.61. Además de la pérdida de materias primas y el impacto ambiental que esto provoca, las fugas procedentes de equipos y componentes como bombas, válvulas y tuberías pueden provocar la dispersión de material radiactivo (por ejemplo,  $\text{UO}_2$ , polvo de octaóxido de triuranio ( $\text{U}_3\text{O}_8$ ),  $\text{UF}_6$ ) y sustancias químicas tóxicas (por ejemplo, HF), así como generar desechos innecesarios. Las fugas de fluidos hidrogenados (por ejemplo, agua o petróleo) pueden alterar la moderación o la reflexión y, por lo tanto, reducir la seguridad con respecto a la criticidad. Las fugas de gases inflamables (por ejemplo, hidrógeno, gas natural, propano) o líquidos inflamables pueden causar explosiones o incendios. Deberían instalarse sistemas de detección de fugas en los lugares donde estas puedan producirse.

5.62. Los recipientes que contengan cantidades significativas de material nuclear (o sustancias químicas peligrosas) en forma líquida deberían estar equipados con detectores de nivel y alarmas para evitar el llenado excesivo, además de elementos de confinamiento secundarios, como cubetos de retención o bandejas de recogida de goteos de capacidad adecuada. En el caso del material fisible, la configuración debe garantizar la seguridad con respecto a la criticidad (véase el párr. 6.143 de la publicación N° SSR-4 [1]).

5.63. Cuando exista la posibilidad de derrame de polvo de uranio en cantidades que podrían ser significativas desde el punto de vista de la seguridad con respecto a la criticidad, debería considerarse la instalación de características de diseño para evitar la intrusión de agua o moderador. También debería contemplarse la instalación de detectores de humedad y sistemas de drenaje.

5.64. Al escoger las superficies de los suelos y las paredes debería velarse por que su limpieza sea sencilla, en particular en las zonas de procesos en húmedo, lo que a su vez contribuirá a reducir al mínimo los desechos procedentes de la clausura.

### *Pérdida de servicios*

5.65. A fin de cumplir los requisitos establecidos en el párrafo 6.89 de la publicación N° SSR-4 [1], se debería disponer de un suministro de energía eléctrica de reserva para emergencias, al menos para los siguientes sistemas y componentes:

- a) sistemas de detección y alarma de accidentes de criticidad;
- b) sistemas de ventilación, si procede, con fines de confinamiento;
- c) sistemas de detección y alarma de fugas de materiales peligrosos, incluidos gases explosivos;
- d) algunos componentes de control del proceso (por ejemplo, elementos de calentamiento, válvulas);
- e) sistemas de detección y extinción de incendios;
- f) sistemas de monitorización con fines de protección radiológica y ambiental, e
- g) iluminación en la instalación del proceso.

5.66. Las consecuencias de la pérdida de suministros generales, como el gas comprimido utilizado en instrumentación y control, el agua de refrigeración de equipos del proceso y sistemas de ventilación, agua de calefacción, aire respirable y aire comprimido con funciones de seguridad, deberían analizarse al menos en los siguientes casos:

- a) Pérdida de suministro de gas de las compuertas y las válvulas de seguridad controladas por gas. De conformidad con el análisis de la seguridad, deberían utilizarse válvulas diseñadas de modo que su fallo genere una posición segura.
- b) Pérdida de agua de refrigeración o calefacción. En el diseño debería preverse una capacidad de reserva adecuada o un suministro redundante.
- c) Pérdida de aire respirable. Debería preverse capacidad de reserva o un suministro redundante para poder seguir trabajando en zonas con material radiactivo en suspensión en el aire.

### *Errores de procesamiento*

5.67. La pérdida de medios de proceso como hidrógeno, nitrógeno o vapor, o el exceso de estos medios, podría tener consecuencias para la seguridad. Son ejemplo de estos sucesos los siguientes:

- a) reacciones químicas incompletas, que podrían provocar la emisión de  $UF_6$  en el sistema de tratamiento de efluentes gaseosos;

- b) la pérdida de estanquidad contra fugas de los equipos utilizados para el transporte de polvo de uranio si se utiliza un flujo de nitrógeno para el sellado;
- c) la reducción de la seguridad con respecto a la criticidad por pérdida de la geometría favorable o pérdida del control de moderación por exceso de gases de proceso;
- d) el aumento de los niveles de contaminación aérea o de concentración de materiales peligrosos en las zonas de trabajo de la instalación debido a sobrepresión en los equipos, y
- e) la reducción de la concentración de oxígeno en el aire respirable en las zonas de trabajo de la instalación debido a la emisión de grandes cantidades de nitrógeno.

5.68. Deberían controlarse constantemente el caudal y la presión de los gases de proceso. En caso de desviaciones del caudal o la presión, las secuencias de parada o bloqueo deberían iniciarse automáticamente.

#### *Fallos en la instalación y en el equipo*

5.69. Para cumplir el requisito 40 de la publicación N° SSR-4 [1], se debería prestar especial atención al confinamiento de HF sumamente corrosivo (en recipientes, tuberías y bombas) y a las líneas de transferencia de polvo en las que el polvo abrasivo causará erosión.

5.70. El diseño debería reducir al mínimo la posibilidad de impactos mecánicos en los contenedores de materiales peligrosos a causa de dispositivos de traslado como vehículos y grúas. Los fallos mecánicos durante el procesamiento de material nuclear podrían provocar daños en los equipos (por ejemplo, por aplastamiento, flexión o rotura) que podrían dar lugar a una degradación del control de la criticidad, el confinamiento o el blindaje. El diseño debería garantizar que se reduzca al mínimo el movimiento de cargas pesadas mediante grúas por encima de recipientes y tuberías que contengan grandes cantidades de materiales peligrosos o radiactivos.

5.71. Los fallos debidos a la fatiga, la corrosión química o la falta de resistencia mecánica deberían tenerse en cuenta en el diseño de los sistemas de contención de materiales peligrosos o radiactivos.

5.72. Para evitar fallos en los equipos que contienen materiales peligrosos (por ejemplo, hornos), deberían establecerse programas eficaces de mantenimiento,

ensayo periódico e inspección en la etapa de diseño (véanse también los párrs. 5.138 a 5.140).

## **Peligros externos**

### *Consideraciones generales*

5.73. Una instalación de fabricación de combustible de uranio debería diseñarse en función de la naturaleza y la gravedad de los peligros externos, sean de origen natural o humano, detectados y evaluados de conformidad con las disposiciones de la publicación N° SSR-1 [13] y el requisito 16 de la publicación N° SSR-4 [1]. En las publicaciones de la *Colección de Normas de Seguridad del OIEA* N° SSG-9 (Rev. 1), *Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations* [17]; N° SSG-18, *Meteorological and Hydrological Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations* [18]; N° SSG-21, *Volcanic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations* [19], y N° SSG-68, *Design of Nuclear Installations Against External Events Excluding Earthquakes* [20] se formulan recomendaciones detalladas sobre los peligros externos. En los párrafos 5.74 a 5.88 se formulan recomendaciones sobre los peligros externos específicos de una instalación de fabricación de combustible.

### *Terremotos*

5.74. Para garantizar que el diseño de una instalación de fabricación de combustible de uranio presenta el grado de robustez necesario, debería realizarse una evaluación sísmica detallada (véanse las publicaciones N° SSR-1 [13] y N° SSG-9 (Rev. 1) [17]) que contemple los siguientes sucesos de origen sísmico:

- a) Pérdida de servicios de apoyo, incluidos los servicios públicos.
- b) Pérdida de funciones de confinamiento (estáticas y dinámicas).
- c) Pérdida de funciones de seguridad para garantizar la restitución de la instalación a un estado seguro y mantener la instalación en dicho estado tras un terremoto, incluidas funciones estructurales y funciones de prevención de otros peligros (por ejemplo, incendios, explosiones, caídas de cargas, inundaciones).
- d) Pérdida de los controles de seguridad con respecto a la criticidad, como la geometría, la moderación, la absorción y la reflexión, a raíz de lo siguiente:
  - i) deformación (control de la geometría);
  - ii) desplazamiento (control de la geometría, absorbentes de neutrones fijos, interacción de neutrones);

- iii) pérdida de material (control de la geometría, absorbentes de neutrones solubles), y
- iv) entrada de material moderador (control de moderación).

5.75. En el diseño de la instalación se deberían tener en cuenta, en función de las características del emplazamiento y de la ubicación de la instalación de fabricación de combustible de uranio, conforme a la evaluación del emplazamiento (véase la sección 4), los efectos de un tsunami y de la licuefacción del suelo inducidos por un terremoto, así como de otros fenómenos extremos de inundación.

#### *Incendios, explosiones y peligros tóxicos externos*

5.76. En las inmediaciones de las instalaciones de fabricación de combustible de uranio diversas fuentes pueden plantear peligros de incendio y explosión externos, por ejemplo, instalaciones petroquímicas, bosques, tuberías y rutas por carretera, ferrocarril o mar utilizadas para el transporte de materiales inflamables como el gas o el petróleo y peligros volcánicos.

5.77. Para demostrar que los riesgos asociados a esos peligros externos están por debajo de los niveles aceptables, la entidad explotadora debería determinar en primer lugar todas las posibles fuentes de peligro y, a continuación, estimar las secuencias de sucesos conexos que afectarían a la instalación. Deberían evaluarse las consecuencias radiológicas o químicas que cualquier daño podría acarrear, y debería verificarse que estas se ajusten a los criterios de aceptación. Los peligros tóxicos deberían evaluarse para verificar que las concentraciones específicas de gas cumplan los criterios de aceptación. Se debería velar por que los peligros tóxicos externos no afecten negativamente al control de la instalación. La entidad explotadora debería realizar un estudio de las instalaciones potencialmente peligrosas y de las operaciones de transporte de materiales peligrosos en las inmediaciones de la instalación. En caso de explosión, los riesgos deberían evaluarse en función del cumplimiento de los criterios de sobrepresión.

5.78. Para determinar los posibles efectos de líquidos inflamables, derrames tóxicos, cenizas volcánicas, caída de objetos (como chimeneas), ondas de choque de aire y proyectiles generados por explosiones, debería evaluarse la distancia a la que se encuentran con respecto a la instalación y, por consiguiente, las posibilidades de que causen daños físicos.

## *Fenómenos meteorológicos extremos*

5.79. Una instalación de fabricación de combustible de uranio debería estar protegida contra condiciones meteorológicas extremas, según lo señalado en la evaluación del emplazamiento (véase la sección 4), mediante disposiciones apropiadas incluidas en el diseño. Estas disposiciones deberían prever, en general, lo siguiente:

- a) la capacidad de las estructuras importantes para la seguridad de resistir cargas meteorológicas extremas;
- b) la prevención de inundaciones en la instalación, incluidos los medios adecuados para evacuar el agua de la azotea en casos de precipitaciones extremas, y
- c) la parada segura de la instalación de acuerdo con los límites y condiciones operacionales.

### Tornados

5.80. Las medidas de protección contra tornados adoptadas en la instalación dependerán de las condiciones meteorológicas de la zona donde esta se encuentre. El diseño de los edificios y los sistemas de ventilación debería ajustarse a los reglamentos nacionales específicos relativos a los peligros relacionados con los tornados. Si no existen reglamentos nacionales en la materia, el diseño debería ceñirse a las buenas prácticas internacionales.

5.81. Los vientos fuertes pueden levantar y propulsar objetos del tamaño de automóviles o postes. La posibilidad de impactos de proyectiles como estos generados por tornados debería tenerse en cuenta en la fase de diseño de la instalación, tanto en lo que se refiere al impacto inicial como a los efectos de los fragmentos secundarios que podrían generarse por colisiones con muros de hormigón y su espalación u otros tipos de transmisión de impulso.

### Temperaturas extremas

5.82. La posible duración de temperaturas extremadamente bajas o altas debería tenerse en cuenta en el diseño de los equipos del sistema de apoyo para evitar efectos inaceptables como la congelación de los circuitos de refrigeración o efectos adversos en los sistemas de venteo y refrigeración.

5.83. Si en un edificio o un compartimento se especifican límites de seguridad relacionados con la humedad o la temperatura, el sistema de aire acondicionado debería estar diseñado para funcionar eficazmente también en condiciones climáticas extremas de calor o humedad. También se deberían tener en cuenta los efectos de la condensación dentro de la instalación. En el caso de estructuras sin juntas de dilatación, se deberían tener en cuenta en el diseño las cargas adicionales sobre los sistemas estructurales debidas a la dilatación térmica.

#### Nevadas y tormentas de hielo

5.84. Las nevadas y tormentas de hielo y sus efectos deberían tenerse en cuenta en el diseño de la instalación y en el análisis de la seguridad. La nieve y el hielo suelen considerarse como una carga adicional en las azoteas de los edificios. Si procede, debería tenerse en cuenta el efecto de reflexión de los neutrones o el efecto de moderación de neutrones de la nieve.

#### Inundaciones

5.85. Ante cualquier suceso que pudiera provocar una inundación, como precipitaciones extremas (para un emplazamiento tierra adentro) o marejadas ciclónicas (para un emplazamiento costero), la atención debería centrarse en los posibles pasos de fuga (daños en la barrera de confinamiento) hacia las celdas activas y las estructuras, sistemas y componentes importantes para la seguridad si estos son vulnerables a los daños. Los equipos que contengan material fisible deberían diseñarse para evitar cualquier accidente de criticidad en caso de inundación. Los sistemas eléctricos, los sistemas de instrumentación y control, los sistemas de suministro eléctrico de emergencia (por ejemplo, baterías, sistemas de suministro de energía eléctrica) y las salas de control deberían estar protegidos en el diseño.

5.86. En caso de precipitaciones extremas, la atención debería centrarse en la estabilidad de los edificios (por ejemplo, los efectos hidrostáticos y dinámicos), el nivel del agua y, cuando proceda, la posibilidad de que se produzcan aludes de lodo. Se debería tener en cuenta el nivel de inundación más alto registrado históricamente y situar la instalación por encima de ese nivel de inundación, a una altura y con un margen suficientes para dar cabida a las incertidumbres, a fin de evitar daños importantes por inundación.

## *Accidentes aéreos*

5.87. De acuerdo con los riesgos definidos en la evaluación del emplazamiento (véase la sección 4), las instalaciones de fabricación de combustible de uranio deberían diseñarse para resistir el impacto base de diseño.

5.88. Para evaluar las consecuencias de los impactos o la idoneidad del diseño para resistir impactos de aeronaves, deberían considerarse las hipótesis de accidente contempladas en la base de diseño, lo que puede exigir conocimiento de factores como el posible ángulo de impacto, la velocidad de la aeronave o la posibilidad de incendio y explosión debido a la carga de combustible de aviación. En general, no se puede descartar un incendio tras un accidente aéreo. Por lo tanto, deberían establecerse requisitos específicos de protección contra incendios y de preparación y respuesta para casos de emergencia.

## INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

5.89. Se debería proporcionar instrumentación para monitorizar los parámetros y sistemas pertinentes y las condiciones generales de la instalación en lo que se refiere a los respectivos rangos de los siguientes elementos: a) funcionamiento normal; b) incidentes operacionales previstos; y c) condiciones de accidente, a fin de garantizar que se pueda obtener información adecuada sobre el estado de las operaciones y la instalación y se puedan tomar medidas adecuadas de conformidad con los procedimientos operacionales.

5.90. Se debería proporcionar instrumentación para medir todos los parámetros principales cuya variación pudiera afectar a la seguridad de los procesos (por ejemplo, presión, temperatura, caudal). Además, se debería proporcionar instrumentación para monitorizar las condiciones generales en la instalación (por ejemplo, parámetros relacionados con la seguridad con respecto a la criticidad, niveles de radiación, emisión de efluentes, condiciones de ventilación) y para obtener cualquier otra información sobre la instalación que sea necesaria para la fiabilidad y seguridad de su explotación (por ejemplo, presencia de personal, condiciones ambientales).

5.91. Los controles de ingeniería pasivos y activos son más fiables que los controles administrativos y se debería optar por ellos para el control en estados operacionales normales y en condiciones de accidente. Se deberían diseñar sistemas automáticos para mantener los parámetros de los procesos dentro de los límites y las condiciones operacionales o para llevar el proceso a un estado seguro

predeterminado, que en el caso de una instalación de fabricación de combustible de uranio suele ser el régimen de parada.

5.92. Se debería poner información adecuada a disposición del operador para que vigile los efectos de las acciones automáticas. La disposición de la instrumentación y la forma de presentación de la información deberían proporcionar al personal de operación una idea adecuada del estado y el comportamiento de la instalación. Se deberían instalar dispositivos que proporcionaran de manera eficiente indicaciones visuales y, cuando procediera, indicaciones auditivas sobre los estados operacionales que se hubieran desviado de las condiciones normales y pudieran afectar a la seguridad. Se deberían tomar medidas para medir y registrar automáticamente los valores de parámetros que son importantes para la seguridad y, cuando proceda, se deberían realizar ensayos periódicos manuales para complementar la comprobación continua automatizada de las condiciones.

### **Salas y paneles de control**

5.93. Se deberían proporcionar salas de control y paneles de interfaz persona-máquina para centralizar la disponibilidad de la información y la monitorización de las medidas. Se debería evaluar la necesidad de contar con salas y paneles de control y su ubicación en distintas zonas, teniendo en cuenta la exposición ocupacional, la seguridad del personal y la respuesta a emergencias. En los casos en que proceda, convendría disponer de salas de control específicas que posibiliten la monitorización a distancia de las operaciones, lo cual reduciría las exposiciones y los riesgos para el personal. Se debería prestar especial atención a la detección de sucesos, tanto dentro como fuera de las salas de control, que puedan entrañar una amenaza directa para los operadores y para la operación de las salas de control. En el diseño de las salas de control y en el diseño de las pantallas de visualización y de los sistemas de esas salas deberían tenerse en cuenta factores ergonómicos.

### **Sistemas de instrumentación y control relacionados con la seguridad**

5.94. Los sistemas de instrumentación y control relacionados con la seguridad de una instalación de fabricación de combustible de uranio deberían incluir sistemas para los siguientes elementos:

- a) El control de la criticidad y la detección y alarma en relación con la criticidad:
  - i) Los parámetros de control suelen comprender, dependiendo del método de control de la criticidad, la masa, la densidad, el contenido de humedad, la composición isotópica, el contenido fisible, la

moderación, la absorción, la reflexión de materiales del entorno cercano —como aditivos—, y la separación entre las unidades.

- ii) Los detectores de radiación (detectores de radiación gamma y/o neutrónica) con alarmas audibles y, cuando sea preciso, visibles para iniciar la evacuación inmediata de la zona afectada deberían cubrir todas las zonas en las que haya una cantidad significativa de material fisible (véase el párr. 6.173 de la publicación N° SSR-4 [1]).
- b) La detección de incendios:
  - i) Todas las salas con cargas de fuego o cantidades importantes de material fisible o material químico tóxico se deberían equipar con alarmas contra incendios.
  - ii) Se deberían utilizar detectores de gas en zonas en las que una fuga de gases (por ejemplo, hidrógeno) pueda producir una atmósfera explosiva.
- c) El control de los procesos:
  - i) Se deberían monitorizar parámetros como la temperatura, la presión, el caudal, la concentración de sustancias químicas o materiales radiactivos, el nivel de los tanques y el peso de los cilindros.
  - ii) Antes de calentar un cilindro de  $UF_6$  se debería medir el peso del  $UF_6$  y se debería confirmar que está por debajo del límite de llenado (por ejemplo, utilizando una segunda báscula independiente).
  - iii) Si el sistema es capaz de alcanzar una temperatura a la que se puede producir una rotura hidráulica, se debería limitar la temperatura durante el calentamiento mediante dos sistemas independientes.
- d) Monitorización y control de la ventilación: se debería medir y controlar la presión diferencial de los filtros de aire particulado de alta eficiencia (HEPA), los prefiltros, los sistemas de escape de lugares cerrados y los flujos de aire hacia celdas calientes, las cajas de guantes y las campanas.
- e) El control de la exposición radiológica ocupacional:
  - i) Se deberían instalar dosímetros con alarmas o pantallas de visualización en tiempo real, especialmente en zonas con equipo de inspección, como generadores de rayos X y fuentes radiactivas (para monitorizar la exposición externa).
  - ii) Se debería realizar un muestreo continuo de los filtros de medición retrospectiva o medición en tiempo real con alarmas, a fin de detectar la emisión de materiales radiactivos (para monitorizar la exposición interna) en zonas en las que exista la posibilidad de que se produzcan emisiones radiactivas.
- f) El control de efluentes gaseosos y líquidos:
  - i) Se deberían proporcionar mediciones en tiempo real en caso de que exista un riesgo de posibilidad previsible de que se superen los límites

- autorizados; de no ser así, alcanza con mediciones retrospectivas sobre filtros o sondas sometidos a muestreo continuo.
- ii) Se debería garantizar la instalación y funcionalidad del sistema de detección y alarma de emisiones anómalas.
- g) El control de la emisión de sustancias químicas: se deberían utilizar sistemas de detección y alarma en tiempo real en las zonas de procesos y laboratorios en los que haya UF<sub>6</sub>.

## CONSIDERACIONES RELATIVAS AL FACTOR HUMANO

5.95. Los requisitos relativos a la ingeniería de factores humanos se establecen en el requisito 27 de la publicación SSR-4 [1].

5.96. En la fase de diseño se deberían tener en cuenta los factores humanos en relación con la operación, la inspección, los ensayos periódicos y el mantenimiento. Entre los factores humanos que han de tenerse en cuenta para una instalación de fabricación de combustible de uranio se encuentran los siguientes:

- a) la facilidad de intervención de los operadores en todos los estados de la instalación;
- b) los posibles efectos de acciones humanas inadecuadas o no autorizadas (teniendo en cuenta la tolerancia al error humano) sobre la seguridad;
- c) el potencial de exposición ocupacional.

5.97. Diseñar la instalación teniendo en cuenta los factores humanos constituye una esfera de especialidad, por lo que los especialistas y los operadores con experiencia deberían participar desde las fases iniciales del diseño. Entre las esferas que deberían tenerse en cuenta figuran las siguientes:

- a) El diseño de las condiciones de trabajo conforme a principios ergonómicos:
  - i) la interfaz operador-proceso: por ejemplo, paneles de control electrónicos que muestren toda la información necesaria y omitan información superflua.
  - ii) el entorno de trabajo: por ejemplo, garantizando un buen acceso al equipo y un espacio adecuado alrededor de este, así como acabados adecuados en las superficies para facilitar su limpieza.
- b) Elección del lugar y claridad en el etiquetado del equipo para facilitar su mantenimiento, puesta a prueba, limpieza y sustitución.
- c) Provisión de equipo de fallo sin riesgo y sistemas de control automático para secuencias de accidentes que requieren una protección fiable y rápida.

- d) Buen diseño de las tareas y facilidad de ejecución de los procedimientos operacionales, en particular durante las tareas de mantenimiento, cuando los sistemas de control automatizado pueden estar deshabilitados.
- e) Reducción al mínimo de la necesidad de utilizar medios adicionales de protección radiológica personal.
- f) Retroinformación basada en la experiencia operacional importante para los factores humanos.

## ANÁLISIS DE LA SEGURIDAD

5.98. En el requisito 14 de la publicación GSR Part 4 (Rev. 1) [11] se indica que “[e]l comportamiento de una instalación o actividad en todos sus estados operacionales y, de ser necesario, en la fase postoperacional, se evaluará en el análisis de la seguridad”. El análisis de la seguridad de las instalaciones de fabricación de combustible de uranio debería incluir el análisis de la seguridad de diversos peligros que afectan a toda la instalación y todas las actividades.

5.99. En la lista de sucesos iniciadores postulados que se hayan determinado se deberían tener en cuenta todos los peligros internos y externos que se pueden utilizar para elaborar los escenarios de sucesos resultantes, con el fin de establecer la lista de estructuras, sistemas y componentes de importancia para la seguridad. Las funciones de las estructuras, sistemas y componentes en que se confíe para la seguridad no deberían verse perjudicadas por los escenarios de sucesos.

### **Análisis de la seguridad de estados operacionales**

5.100. Para determinar la exposición ocupacional interna y externa y la exposición del público durante el funcionamiento normal y los incidentes operacionales previstos, se debería realizar una evaluación específica realista, exhaustiva y robusta (es decir, conservadora) de la instalación teniendo en cuenta lo siguiente:

- a) En los cálculos del término fuente se debería utilizar: i) el material con la mayor actividad específica para una determinada composición isotópica; ii) el inventario autorizado de la instalación; iii) la máxima producción de material que puede procesar la instalación. En los cálculos se deberían utilizar los peores desempeños de las barreras en el funcionamiento normal. También se puede utilizar una metodología de estimación óptima con el uso de márgenes adecuados.

- b) Los cálculos de las dosis estimadas debidas a la exposición ocupacional se deberían realizar sobre la base de las condiciones existentes en los lugares de trabajo más expuestos; en esos cálculos se deberían utilizar los tiempos de trabajo máximos anuales y se deberían tener en cuenta las actividades de mantenimiento. Sobre la base de los datos relativos a las tasas de dosis recopilados durante las actividades de puesta en servicio y, cuando sea necesario, los límites y condiciones operacionales pueden incluir los tiempos de trabajo máximos anuales en determinados lugares de trabajo.
- c) Los cálculos de las dosis estimadas para el público (es decir, para la persona representativa) se deberían realizar sobre la base de las emisiones máximas estimadas de material radiactivo al aire y al agua, las deposiciones máximas al suelo y la exposición directa. Para calcular las dosis estimadas para el público se deberían utilizar modelos y parámetros conservadores.

## **Análisis de la seguridad en condiciones de accidente**

### *Métodos e hipótesis para el análisis de la seguridad en condiciones de accidente*

5.101. Para estimar las consecuencias de un accidente dentro y fuera del emplazamiento, en el análisis del accidente se deberían elaborar modelos que contemplen todo el abanico de procesos físicos que podrían dar lugar a una emisión al medio ambiente de materiales radiactivos y cualesquiera sustancias químicas peligrosas conexas, y se deberían determinar los casos que conlleven las peores consecuencias.

5.102. Las consecuencias de los accidentes base de diseño de una instalación de fabricación de combustible de uranio podrían provocar consecuencias para las personas que se encuentren en el emplazamiento y cerca del lugar del accidente. Las consecuencias dependen de diversos factores, como la cantidad y la tasa de emisión de materiales radiactivos o sustancias químicas peligrosas, la distancia entre la fuente de la emisión y las personas expuestas o afectadas, las vías de transporte de los materiales hasta las personas y los tiempos de exposición.

5.103. Los criterios de aceptación asociados con el análisis de accidentes se deberían establecer de conformidad con el requisito 16 de la publicación N° GSR Part 4 (Rev. 1) [11], y con respecto a reglamentos nacionales y criterios pertinentes.

5.104. Para demostrar la protección de los trabajadores, el público y el medio ambiente frente a accidentes, en la evaluación de la seguridad de una instalación

de fabricación de combustible de uranio se deberían tener en cuenta los dos enfoques que se citan a continuación o un enfoque equivalente:

- 1) El primer enfoque conlleva la determinación de las estructuras, los sistemas y los componentes de importancia para la seguridad. También supone demostrar que estas estructuras, sistemas y componentes pueden reducir las consecuencias o la probabilidad de posibles accidentes a niveles inferiores a los que figuran en los criterios preestablecidos. Este enfoque también proporcionaría información para la elaboración de planes de emergencia.
- 2) El segundo enfoque comienza con la selección de las condiciones limitativas de accidente, a las que se hace alusión como hipótesis limitantes o envolventes. Luego se debería demostrar de manera conservadora, sin tener en cuenta las estructuras, sistemas y componentes (activos) de importancia para la seguridad ni las medidas administrativas, que las consecuencias de estas condiciones limitativas de accidente se ajustan a los criterios de aceptación independientes establecidos en la instalación (véase también el requisito 16 de la publicación GSR Part 4 [11]). Esta evaluación va seguida de una evaluación sobre las posibles secuencias de accidentes para determinar disposiciones sobre características de diseño y medidas administrativas, teniendo en cuenta un enfoque graduado de conformidad con el requisito 11 de la publicación SSR-4 [1], a fin de reducir aún más las consecuencias o la probabilidad de posibles accidentes y de proporcionar información para la elaboración de planes de emergencia.

5.105. Las consecuencias de accidentes se deberían evaluar de conformidad con los requisitos establecidos en la publicación GSR Part 4 (Rev. 1) [11] y con partes pertinentes de las Guías de Seguridad que la complementan.

5.106. En el requisito 38 de la publicación SSR-4 [1]) se indica que “[e]l **diseño garantizará un margen adecuado de subcriticidad, en los estados operacionales y en las condiciones denominadas condiciones anormales verosímiles, o en las condiciones incluidas en la base de diseño.**” Como parte del análisis de la seguridad en condiciones de accidente se debería tener en cuenta la posibilidad de que se produjera un accidente de criticidad en instalaciones de fabricación de combustible de uranio que procesan uranio con un enriquecimiento en  $^{235}\text{U}$  superior al 1 %. Se debería prestar especial atención a la posibilidad de que se produjera un accidente de criticidad en instalaciones en las que se manejan y procesan diversos productos de alimentación, como el uranio reprocesado.

5.107. De conformidad con los párrafos 6.149 y 6.150 de la publicación SSR-4 [1], en el caso de los accidentes de criticidad se debe evaluar la

necesidad y conveniencia de adoptar medidas mitigadoras y la eficacia de las medidas protectoras.

### *Análisis de las condiciones adicionales de diseño*

5.108. El análisis de la seguridad también debería determinar las condiciones adicionales de diseño, y su progresión y sus consecuencias se deberían analizar de conformidad con el requisito 21 de la publicación SSR-4 [1]. El objetivo es determinar y analizar escenarios adicionales de accidente que han de abordarse en el diseño de una instalación de fabricación de combustible de uranio. En el párrafo 6.74 de la publicación N° SSG-4 [1] se dispone lo siguiente:

“Las instalaciones nuevas se diseñarán de modo que quede prácticamente eliminada la posibilidad de que surjan condiciones que puedan dar lugar a emisiones tempranas o emisiones grandes de materiales radiactivos. También se diseñarán de manera que, respecto de las condiciones adicionales de diseño, las medidas que se requieran fuera del emplazamiento para proteger al público sean medidas limitadas en cuanto a los períodos de tiempo y las áreas en que deban aplicarse, y de modo que haya tiempo suficiente para adoptarlas.”

Las condiciones adicionales de diseño comprenden sucesos más graves que los accidentes base de diseño que podrían originarse a partir de sucesos extremos o combinaciones de esos sucesos, de forma secuencial o simultánea, que podrían causar daños a estructuras, sistemas y componentes importantes para la seguridad o que podrían poner en riesgo el cumplimiento de las funciones principales de seguridad. Se deben utilizar los sucesos iniciadores postulados que se proporcionan en el anexo de la publicación SSR-4 [1], incluidas las combinaciones de sucesos iniciadores, así como sucesos con fallos adicionales. También se deberían analizar los accidentes que tienen consecuencias más graves, así como las progresiones de sucesos que podrían dar lugar a un suceso de criticidad o a emisiones radiológicas o químicas, a fin de contribuir a la preparación y respuesta para casos de emergencia y prestar asistencia en la elaboración de planes de emergencia para mitigar las consecuencias de un accidente.

5.109. Siempre que sea posible, en la instalación se deberían aplicar características adicionales de seguridad o una mayor capacidad de los sistemas de diseño que se hayan determinado durante el análisis de las condiciones adicionales de diseño.

5.110. Para analizar las condiciones adicionales de diseño se pueden aplicar metodologías de estimación óptima con condiciones de límites realistas. El

establecimiento de los criterios de aceptación para este análisis, de conformidad con el párrafo 6.74 de la publicación SSR-4 [1], l debería estar a cargo de la entidad explotadora y de su examen debería ocuparse la autoridad reguladora nacional.

5.111. En la referencia [21] se pueden encontrar ejemplos de condiciones adicionales de diseño que son aplicables a las instalaciones de fabricación de combustible de uranio.

5.112. El análisis de las condiciones adicionales de diseño también debería demostrar que la instalación de fabricación de combustible de uranio se puede llevar a un estado en el que la función de confinamiento y la subcriticidad se pueden mantener a largo plazo (véase también la publicación SSG-27 (Rev. 1) [2]).

### **Evaluación de posibles consecuencias radiológicas o químicas**

5.113. Entre las primeras medidas para evaluar las posibles consecuencias radiológicas o químicas en el análisis de la seguridad deberían figurar las siguientes:

- a) análisis de las condiciones reales de emplazamiento (por ejemplo, condiciones meteorológicas, geológicas e hidrogeológicas del emplazamiento) y condiciones previstas en el futuro, como sucesos iniciadores internos y externos con la posibilidad de que se produzcan sucesos adversos;
- b) especificación de la información sobre el diseño y las configuraciones de la instalación, con los correspondientes procedimientos operacionales y controles administrativos para las operaciones;
- c) identificación de las personas y grupos de población (en lo que respecta al personal de la instalación y los miembros del público) que podrían verse afectados por riesgos radiológicos o riesgos químicos asociados derivados de la operación de la instalación;
- d) determinación y análisis de las condiciones en la instalación, como sucesos iniciadores internos y externos que podrían dar lugar a una emisión de material o energía que podría provocar sucesos adversos, el marco temporal de las emisiones y el tiempo de exposición, de conformidad con escenarios razonables;
- e) cuantificación de las consecuencias para las personas y los grupos de población identificados en la evaluación de la seguridad;
- f) determinación y especificación de las estructuras, sistemas y componentes de importancia para la seguridad que se puedan considerar capaces de reducir la probabilidad o mitigar las consecuencias de accidentes. Las estructuras, sistemas y componentes de importancia para la seguridad que figuren en la

evaluación de la seguridad deberían reunir los requisitos para cumplir sus funciones en condiciones de accidente;

- g) caracterización del término fuente (por ejemplo, material, masa, tasa de emisión, temperatura);
- h) determinación y análisis de vías por las cuales el material emitido se podría dispersar al medio ambiente, y
- i) consideraciones con respecto a la interfaz entre la seguridad tecnológica nuclear y la seguridad física nuclear.

5.114. El análisis de las condiciones del emplazamiento conlleva un examen de las condiciones meteorológicas (por ejemplo, velocidad del viento, clase de estabilidad, efectos de la estela de los edificios) y de las condiciones geológicas, hidrogeológicas e hidrológicas en el emplazamiento (por ejemplo, caudal de aguas superficiales) que podrían influir en las operaciones de la instalación o que podrían desempeñar un papel en el transporte del material o la transferencia de la energía que se podría emitir desde la instalación.

5.115. La transferencia de material al medio ambiente se debería calcular mediante códigos informáticos cualificados o utilizando datos derivados de códigos cualificados, teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas, hidrogeológicas e hidrológicas en el emplazamiento que provocarían el mayor grado de exposición del público.

5.116. Para identificar al personal y los miembros del público (es decir, la persona representativa) que podrían verse afectados por un accidente es necesario examinar las descripciones de la instalación y la información demográfica.

5.117. En la publicación N° GSG-10 [16] se pueden encontrar más recomendaciones sobre la evaluación del posible impacto radiológico para el público. En la referencia [22] se proporcionan directrices útiles para evaluar los efectos tóxicos agudos y crónicos de las sustancias químicas que se emplean en las instalaciones de fabricación de combustible.

## PREPARACIÓN Y RESPUESTA PARA CASOS DE EMERGENCIA

5.118. Antes de poner en servicio la instalación se debería efectuar una evaluación exhaustiva del peligro conforme a lo dispuesto en el requisito 4 de la publicación *Preparación y respuesta para casos de emergencia nuclear o radiológica (Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GSR Part 7)* [23]. Los resultados de la evaluación del peligro deberían proporcionar una base

para determinar la categoría de preparación para emergencias que corresponde a la instalación y a las zonas en el emplazamiento y, cuando sea pertinente, a las zonas fuera del emplazamiento en las que podría justificarse la adopción de medidas protectoras y otras medidas de respuesta en caso de emergencia nuclear o radiológica. En la publicación *Disposiciones de preparación para emergencias nucleares o radiológicas (Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GS-G-2.1)* [24] se proporcionan más recomendaciones al respecto.

5.119. La entidad explotadora de una instalación debe establecer disposiciones de emergencia que tengan en cuenta los peligros potenciales en la instalación (requisitos 47 y 72 de la publicación SSR-4 [1]). El plan y los procedimientos de emergencia y el equipo y las provisiones necesarios se deberían determinar sobre la base de escenarios concretos en relación con condiciones adicionales de diseño y accidentes que sobrepasen la base de diseño (o cuestiones equivalentes). Las condiciones en las cuales podría ser necesario iniciar una respuesta a emergencias fuera del emplazamiento deberían incluir accidentes de criticidad, incendios generalizados en la zona de polvo de uranio y terremotos.

## GESTIÓN DE DESECHOS RADIATIVOS

5.120. Los requisitos generales para la optimización de la protección y la seguridad en materia de gestión de desechos y efluentes y la formulación de una estrategia sobre desechos se establecen en la publicación *Gestión previa a la disposición final de desechos radiactivos (Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GSR Part 5)* [25] y las recomendaciones figuran en las publicaciones de la *Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GSG-3, Justificación de la seguridad y evaluación de la seguridad en relación con la gestión previa a la disposición final de desechos radiactivos* [26], N° GSG-1, *Clasificación de desechos radiactivos* [27], y N° SSG-41, *Predisposal Management of Radioactive Waste from Nuclear Fuel Cycle Facilities* [28]. Las recomendaciones sobre aspectos que son particularmente pertinentes o específicos para las instalaciones de fabricación de combustible de uranio figuran en los párrafos 5.121 a 5.124.

5.121. De conformidad con el requisito 24 de la publicación N° SSR-4 [1], la generación de desechos radiactivos se debe mantener en el mínimo posible, en términos de actividad y de volumen, usando para ello medidas de diseño adecuadas. En la medida de lo posible, en las instalaciones de fabricación de combustible de uranio se deberían aplicar medidas de recuperación de material nuclear y reutilización de sustancias químicas, a fin de reducir al mínimo la generación de desechos, tanto en forma sólida como líquida.

5.122. Constituye una buena práctica disminuir el volumen y reducir al mínimo la reactividad de los desechos radiactivos en un centro de tratamiento de desechos en el emplazamiento. Algunos elementos importantes de un centro de tratamiento de desechos son los siguientes:

- a) un taller específico para el tratamiento de desechos;
- b) equipo para la descontaminación;
- c) los medios para el acondicionamiento de los desechos;
- d) dispositivos para medir la actividad;
- e) un sistema para garantizar la detección y la trazabilidad de los productos de desecho y para llevar un registro de estos, y
- f) capacidad suficiente para el almacenamiento de los desechos.

5.123. En el caso de las instalaciones de fabricación de combustible de uranio, el material nuclear que ha de recuperarse es el uranio, tanto a partir de los residuos (es decir, productos que están fuera de la especificación y que no se reciclan directamente en el proceso de fabricación de combustible), como en forma de productos secundarios procedentes de los filtros de ventilación o de la limpieza de la instalación. El proceso de recuperación de uranio a partir de residuos puede incluir la disolución y la extracción con disolventes, que generan efluentes líquidos. Se debería tratar de alcanzar un equilibrio adecuado entre los beneficios que supone recuperar material útil, los desechos sólidos y líquidos generados y el impacto ambiental.

5.124. Se deberían aplicar controles de la calidad adecuados durante la gestión de los desechos procedentes de todas las corrientes de desechos. En la publicación N° GSG-16 [9] se formulan recomendaciones sobre el sistema de gestión para la gestión de desechos radiactivos.

## GESTIÓN DE EFLUENTES GASEOSOS Y LÍQUIDOS

5.125. Las instalaciones de fabricación de combustible de uranio se deberían diseñar de manera que se evite la necesidad de descargas. En el caso de que no se puedan evitar las descargas, la entidad explotadora debería asegurarse de que se puedan cumplir los límites de descarga durante la operación normal y que se impidan las emisiones accidentales al medio ambiente.

5.126. Se deberían monitorizar, tratar y gestionar, según sea necesario, los efluentes líquidos que hayan de descargarse al medio ambiente, a fin de reducir las descargas de materiales radiactivos y sustancias químicas peligrosas.

5.127. Cuando sea necesario, se debería instalar equipo que revele el posible fallo de los sistemas de tratamiento, como manómetros diferenciales que detecten fallos en los filtros. En el caso de que así se requiera en el análisis de la seguridad o la autorización pertinente, las descargas se deberían monitorizar mediante el muestreo constante de la actividad en el líquido o gas, junto con una medición continua del caudal de descarga.

## OTRAS CONSIDERACIONES DEL DISEÑO

5.128. Para cumplir el requisito 7 de la publicación SSR-4 [1], en una fase inicial del diseño de la instalación, se deberían elegir equipo y materiales que garanticen el confinamiento, limiten la acumulación de uranio y faciliten la limpieza o la descontaminación de superficies. Con respecto a la acumulación involuntaria de uranio en las cadenas de procesos, los sistemas de ventilación y los contenedores, se debería prestar especial atención a la retroinformación basada en la experiencia operacional (véase la ref. [29]).

5.129. En el caso de zonas de procesos concretas como zonas de conversión y hornos de sinterización, se deberían tener en cuenta los medios por los cuales se puede poner la instalación en régimen de parada de forma segura en una emergencia.

5.130. Los materiales para estructuras civiles y el equipo se deberían seleccionar en función de su compatibilidad química y térmica, teniendo en cuenta las sustancias químicas que se utilizan en los procesos de la instalación.

### **Disposiciones de diseño para la transferencia de materiales radiactivos y peligrosos dentro del emplazamiento**

5.131. Los requisitos para controlar la transferencia de material radiactivo y otros materiales peligrosos se establecen en el requisito 28 y en los párrafos 6.111 a 6.112 de la publicación N° SSR-4 [1].

5.132. En el diseño de la instalación y los procesos de producción se debería tener en cuenta el número de transferencias dentro de emplazamiento de materiales radiactivos y otros materiales peligrosos en las distintas zonas relacionadas con la seguridad (por ejemplo, zonas controladas radiológicamente o zonas controladas con respecto a la criticidad nuclear).

5.133. Para la recepción de contenedores que contengan materiales radiactivos u otros materiales peligrosos, durante la fase de diseño se deberían tener en cuenta suficientes medidas técnicas para comprobar su integridad.

5.134. Todos los contenedores que se utilicen para transferir materiales radiactivos y otros materiales peligrosos en el emplazamiento se deberían tener en cuenta en el análisis de la seguridad.

5.135. Para los casos en los que la identificación incorrecta de los contenedores pudiera suponer un peligro, se deberían utilizar medidas para la fácil identificación de su contenido, en el caso de que sea posible (por ejemplo, uso de colores, formas o válvulas distintivos).

5.136. Se debería disponer de medidas técnicas para la inspección y el mantenimiento de contenedores que se clasifiquen como elementos importantes para la seguridad. Todos los contenedores se deberían controlar mediante un sistema informático (por ejemplo, para monitorizar el estado, la posición y las condiciones técnicas reales de los contenedores).

5.137. Los análisis de las disposiciones de manejo deberían abarcar las siguientes cuestiones:

- a) rutas de transporte e intersecciones dentro de la instalación;
- b) límites técnicos de los vehículos de transporte, y
- c) fallos de manejo durante el transporte.

## CONSIDERACIONES SOBRE LA GESTIÓN DEL ENVEJECIMIENTO

5.138. De conformidad con el requisito 32 de la publicación SSR-4 [1], el diseño de la instalación debe tener en cuenta los efectos del envejecimiento de los sistemas, estructuras y componentes de importancia para la seguridad, a fin de garantizar su fiabilidad y disponibilidad durante la vida útil de la instalación.

5.139. El diseño debería permitir que se pudieran inspeccionar con facilidad todos los sistemas, estructuras y componentes de importancia para la seguridad, a fin de detectar su estado de envejecimiento (deterioro de la contención estática, corrosión) y hacer posible su mantenimiento o sustitución, en caso necesario.

5.140. En la fase de diseño se debería implantar un programa de gestión del envejecimiento para garantizar que existan disposiciones para el mantenimiento

oportuno de las estructuras, sistemas y componentes de importancia para la seguridad y para prever las sustituciones de equipo.

## **6. CONSTRUCCIÓN DE INSTALACIONES DE FABRICACIÓN DE COMBUSTIBLE DE URANIO**

6.1. Los requisitos para la construcción de instalaciones de fabricación de combustible de uranio se establecen en el requisito 53 y en los párrafos 7.1 a 7.7 de la publicación N° SSR-4 [1]. En la publicación *Construction for Nuclear Installations (Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° SSG-38)* [30] se formulan recomendaciones generales sobre la construcción y la gestión de la construcción de instalaciones nucleares.

6.2. En el caso de instalaciones de fabricación de combustible de uranio, los criterios empleados para la construcción del edificio y la fabricación del equipo de procesos y los componentes utilizados en la instalación, así como para su instalación, deberían ser los mismos o más estrictos que los empleados para la industria química no nuclear y se deberían especificar como parte del diseño (por ejemplo, diseño antisísmico).

6.3. El alcance de la interacción reglamentaria en la construcción debería ser proporcional a los peligros que plantee la instalación durante su vida útil. Además del programa de construcción (véase el requisito 53 de la publicación N° SSR-4 [1]) y del proceso de gestión por el cual la entidad explotadora mantiene el control de la construcción, se deberían aprovechar las visitas frecuentes del órgano regulador al lugar de construcción para proporcionar retroinformación al contratista encargado de la construcción a fin de prevenir futuros problemas operacionales.

6.4. Se deberían utilizar buenas prácticas actuales para la construcción de los edificios y para la fabricación e instalación de equipo de la instalación.

6.5. Preferiblemente, la obra de construcción debería finalizarse antes de la puesta en servicio de la instalación o de sus partes. En los casos en los que las fases de construcción y puesta en servicio o las fases operacionales se solapen, se deberían tener en cuenta las precauciones adecuadas para reducir al mínimo el posible efecto adverso de las actividades de construcción sobre la seguridad. También se debería tener en cuenta la protección del equipo que ya se haya instalado.

6.6. Tras su instalación, las estructuras y los componentes se deberían limpiar adecuadamente y se deberían pintar con un imprimador adecuado, a lo que seguirá un tratamiento apropiado para superficies.

6.7. También se deberían tener en cuenta los efectos de actividades cercanas en las que se manejen sustancias corrosivas.

6.8. Se debería evaluar adecuadamente la integridad y competencia de los contratistas que participen en la obra de construcción en lo que se refiere al estricto cumplimiento de los requisitos de diseño y los requisitos de calidad, a fin de garantizar la seguridad de la instalación en el futuro.

## **7. PUESTA EN SERVICIO DE INSTALACIONES DE FABRICACIÓN DE COMBUSTIBLE DE URANIO**

7.1. Los requisitos para la puesta en servicio de instalaciones de fabricación de combustible de uranio se establecen en el requisito 54 y en los párrafos 8.1 a 8.23 de la publicación N° SSR-4 [1].

7.2. La entidad explotadora debería aprovechar al máximo la fase de puesta en servicio para familiarizarse por completo con la instalación. Esta fase también debería servir para promover y seguir mejorando la cultura de la seguridad, incluidos actitudes y comportamientos positivos, en toda la organización.

7.3. En el caso de una instalación de fabricación de combustible de uranio, la puesta en servicio se debería dividir en dos fases principales:

- 1) Puesta en servicio no activa o “en frío” (es decir, puesta en servicio antes de introducir uranio en la instalación). En esta etapa, se prueban de forma constante los sistemas de la instalación, tanto los elementos individuales del equipo que comprenden como los sistemas en su integridad. Dada la relativa facilidad de adoptar medidas correctivas en esta fase, se deberían realizar todas las verificaciones y pruebas posibles. Sin embargo, dados los bajos niveles de radiación en una instalación de fabricación de combustible de uranio, también sería aceptable realizar algunas de estas actividades durante la fase de puesta en servicio activa. La entidad explotadora debería aprovechar la oportunidad para finalizar el conjunto de documentos operacionales y dar capacitación al personal sobre requisitos de

seguridad, procedimientos operacionales (incluidos los de mantenimiento) y procedimientos de emergencia. Al término de esta fase, la entidad explotadora debería proporcionar al órgano regulador pruebas de que la instalación reúne los requisitos de diseño y los requisitos de seguridad, así como de su disponibilidad operacional para la puesta en servicio activa;

- 2) Puesta en servicio activa o “en caliente” (es decir, puesta en servicio con el uso de uranio). En esta fase se deberían probar los sistemas y las medidas de seguridad en relación con el confinamiento y con la protección radiológica. Las pruebas en esta fase deberían comprender i) comprobaciones de materiales radiactivos en suspensión en el aire y comprobaciones de los niveles de exposición en el lugar de trabajo; ii) muestreo de las superficies mediante frotis; iii) comprobaciones de descargas gaseosas y líquidas, y iv) comprobaciones de acumulaciones imprevistas de materiales. Las pruebas en esta segunda fase se deberían realizar utilizando uranio natural o uranio empobrecido, a fin de evitar riesgos de criticidad, reducir al mínimo la exposición ocupacional y disminuir la posible necesidad de descontaminación.

7.4. Durante la puesta en servicio no activa, la entidad exploradora debería verificar (mediante una “prueba de humo” u otro método equivalente) que el lugar donde se encuentran los principales instrumentos radiológicos está correctamente diseñado (es decir, que los flujos de aire dentro de la central se corresponden con las estimaciones calculadas durante la fase de diseño).

7.5. Durante la fase de puesta en servicio y más adelante durante la explotación de la instalación, se deberían comparar las dosis estimadas que se calcularon para el personal con las dosis o tasas de dosis reales. En el caso de que, durante la explotación, las dosis reales sean superiores a las dosis calculadas, se deberían adoptar medidas correctivas, entre ellas realizar cualesquiera cambios necesarios en la documentación relativa a la concesión de la licencia (es decir, el informe de análisis de la seguridad) o añadir o cambiar características de seguridad o prácticas de trabajo.

7.6. Para reducir al mínimo la contaminación del equipo durante la puesta en servicio, se deberían utilizar pruebas de procesos con uranio donde sea necesario para evaluar el desempeño de los instrumentos para la detección de radiación o para evaluar los procesos relativos a la retirada de uranio.

7.7. En cada fase de la puesta en servicio debería haber suficiente personal de operación, adecuadamente cualificado y con la capacitación necesaria.

7.8. Cuando sea posible, se deberían buscar y aplicar enseñanzas extraídas de la puesta en servicio y la explotación de instalaciones de fabricación de combustible de uranio análogas.

## **8. EXPLOTACIÓN DE INSTALACIONES DE FABRICACIÓN DE COMBUSTIBLE DE URANIO**

### ORGANIZACIÓN DE LA EXPLOTACIÓN DE INSTALACIONES DE FABRICACIÓN DE COMBUSTIBLE DE URANIO

8.1. Para cumplir con los requisitos de seguridad para la explotación que se establecen en la sección 9 de la publicación N° SSR-4 [1], se deberían tener en cuenta los principales peligros de una instalación de fabricación de combustible de uranio que se describen en la sección 2.

8.2. En una instalación de fabricación de combustible de uranio, muchos procesos individuales se realizan de manera completamente automatizada, lo cual ayuda a reducir la interacción del ser humano con materiales radiactivos. Por este motivo, para garantizar una explotación segura se hace más hincapié en medidas administrativas, monitorización y mantenimiento preventivo.

8.3. En una instalación de fabricación de combustible de uranio, el comité de seguridad interno se debería crear sobre la base del comité de seguridad que se haya constituido para la puesta en servicio (véanse también el párr. 3.26 y el párr. 4.29 de la publicación N° SSR-4 [1]).

### DOTACIÓN DE PERSONAL DE UNA INSTALACIÓN DE FABRICACIÓN DE COMBUSTIBLE DE URANIO

8.4. En el requisito 56 de la publicación N° SSR-4 [1] se dispone que “[I]a entidad explotadora velará por que la instalación del ciclo del combustible nuclear cuente con personal directivo competente y con suficiente personal cualificado para la explotación segura de la instalación”.

8.5. En el párrafo 9.16 de la publicación N° SSR-4 [1] se señala que “[s]e elaborará por anticipado un programa detallado de explotación y uso de la instalación del ciclo del combustible nuclear, que se someterá a la aprobación

del personal directivo superior”. El programa para la explotación y utilización de una instalación de fabricación de combustible de uranio debería examinarse y actualizarse periódicamente para garantizar que se ajuste a los objetivos a largo plazo y contribuya a su consecución.

8.6. Para la dotación de personal deberían tenerse en cuenta el desarrollo de competencias y experiencia profesionales y directivas, así como las pérdidas de personal y sus conocimientos debido a la jubilación u otros motivos. El plan de dotación de personal a largo plazo debería prever tiempo suficiente para transferir las responsabilidades al personal nuevo y con ello facilitar la continuidad en el desempeño de las obligaciones.

8.7. La dotación de personal de una instalación de fabricación de combustible de uranio debería basarse en las funciones y responsabilidades de la entidad explotadora. Se debería realizar un análisis detallado de las tareas y actividades que han de llevarse a cabo, a fin de determinar las necesidades de dotación de personal y cualificación en distintos niveles de la organización. Este análisis también se debería utilizar para determinar las necesidades de la instalación en lo que se refiere a la contratación, la capacitación y el readiestramiento del personal.

8.8. La entidad explotadora debería establecer las disposiciones necesarias para garantizar la seguridad del personal y la explotación segura de la instalación de fabricación de combustible de uranio durante situaciones en las que un gran número de personal pudiera no estar disponible, como durante una epidemia o una pandemia que afecte a las zonas en las que viva el personal. Esas disposiciones deberían incluir lo siguiente:

- a) mantener un número mínimo de personal cualificado en el emplazamiento para garantizar la explotación segura de la instalación;
- b) garantizar que un número mínimo de personal cualificado de respaldo permanezca disponible fuera del emplazamiento, y
- c) establecer medidas adicionales para impedir la propagación de una infección en el emplazamiento, de conformidad con las orientaciones nacionales e internacionales (por ejemplo, posibilitando el teletrabajo para el personal no esencial).

## CUALIFICACIÓN Y CAPACITACIÓN DEL PERSONAL

8.9. Los requisitos de seguridad relativos a la cualificación y capacitación del personal de la instalación figuran en los requisitos 56 y 58 de la publicación

Nº SSR-4 [1]. En los párrafos 4.6 a 4.25 de la publicación Nº GS-G-3.1 [7] se proporcionan recomendaciones detalladas.

8.10. El personal de operación de una instalación de fabricación de combustible de uranio debería recibir capacitación específica en materia de seguridad con respecto a la criticidad y de seguridad radiológica y se debería hacer hincapié en la protección frente a la exposición radiológica y los peligros químicos y las disposiciones de preparación y respuesta para casos de emergencia (véanse los párrs. 9.41 y 9.125 de la publicación Nº SSR-4 [1]).

8.11. La capacitación complementaria del personal de seguridad tecnológica y del personal de seguridad física y su participación mutua en ejercicios de ambos tipos deberían formar parte del programa de capacitación para gestionar eficazmente la interfaz entre la seguridad tecnológica y la seguridad física. En particular, el personal con responsabilidades y conocimientos especializados en el análisis de la seguridad y la evaluación de la seguridad, así como en la seguridad operacional, incluido el personal de protección radiológica y el personal de seguridad con respecto a la criticidad nuclear, debería recibir conocimientos prácticos sobre los requisitos de la seguridad física de la instalación, y los especialistas en seguridad física deberían recibir conocimientos prácticos sobre los aspectos de seguridad tecnológica de la instalación, de modo que los posibles conflictos entre la seguridad tecnológica y la seguridad física se puedan resolver de manera eficaz.

## DOCUMENTACIÓN OPERACIONAL

8.12. En el requisito 57 y los párrafos 9.27 a 9.37 de la publicación Nº SSR-4 [1] se exige que se establezcan límites y condiciones operacionales para una instalación de fabricación de combustible de uranio. El personal que opere la instalación debería entender bien la importancia de los límites y condiciones operacionales, así como de los niveles y las condiciones de actuación. para la seguridad. La entidad explotadora debería definir y mantener el conjunto de niveles de actuación.

8.13. Se debería preparar documentación operacional en la que se enumeren todos los límites y condiciones operacionales bajo los cuales se explota la instalación. En el anexo III se proporcionan ejemplos de parámetros que se pueden utilizar para definir los límites y condiciones operacionales en las distintas zonas de procesamiento de la instalación.

8.14. Conforme al párrafo 9.31 de la publicación Nº SSR-4 [1], para la explotación segura de una instalación de fabricación de combustible de uranio se

deben establecer límites a los parámetros de funcionamiento. A continuación se muestran ejemplos de esos límites:

- a) el máximo enriquecimiento de uranio permitido en la instalación;
- b) las especificaciones de los cilindros de  $UF_6$  y el inventario máximo de cilindros de  $UF_6$  permitidos en la zona de almacenamiento;
- c) la producción y los inventarios máximos permitidos para la instalación, y
- d) requisitos mínimos de dotación de personal y disponibilidad de conocimientos especializados específicos (por ejemplo, especialista en criticidad nuclear).

8.15. Se deberían tomar medidas para garantizar que el uranio —especialmente el polvo o las pastillas de uranio— esté presente únicamente en las zonas designadas para su almacenamiento o manipulación. Para cumplir los requisitos que figuran en el requisito 64 y el párrafo 6.121 de la publicación N° SSR-4 [1], se deberían implantar programas de monitorización rutinaria de la contaminación superficial y de la contaminación aérea y para garantizar un nivel adecuado de organización, orden y limpieza.

8.16. Se deberían formular procedimientos operacionales para controlar directamente las operaciones de los procesos. Esos procedimientos deberían incluir instrucciones para alcanzar un estado seguro de la instalación en lo que atañe a todos los incidentes operacionales previstos y las condiciones de accidente. En una instalación de fabricación de combustible de uranio, el estado operacional seguro alcanzado tras cualquier incidente operacional previsto suele ser el régimen de parada. No obstante, se deberían utilizar procedimientos operacionales específicos para poner determinados equipos, como vaporizadores de  $UF_6$ , hornos rotatorios para dióxido de uranio y hornos de sinterización, en régimen de parada. Los procedimientos de este tipo deberían incluir las medidas necesarias para garantizar la seguridad con respecto a la criticidad, la protección contra incendios, la planificación para casos de emergencia y la protección ambiental.

8.17. En lo que se refiere a las condiciones de incendio, se deberían especificar los procedimientos operacionales relativos al sistema de ventilación y se deberían realizar ensayos periódicos del sistema de ventilación y simulacros de incendios.

8.18. Se deberían formular procedimientos para paradas planificadas de la producción que son necesarias para llevar a cabo actividades como la comprobación de inventarios, el mantenimiento y otras necesidades operacionales. En estos procedimientos se deberían especificar sistemas que garanticen la devolución de los materiales fisibles a sus lugares seguros. En los procedimientos se

deberían especificar la duración de las actividades programadas y las medidas compensatorias pertinentes.

## MANTENIMIENTO, CALIBRACIÓN, ENSAYOS PERIÓDICOS E INSPECCIÓN

8.19. Los requisitos relativos al mantenimiento, la calibración, los ensayos periódicos y la inspección de instalaciones de fabricación de combustible de uranio se establecen en el requisito 65 y en los párrafos 9.74 a 9.82 de la publicación N° SSR-4 [1].

8.20. Las actividades de mantenimiento en una instalación de fabricación de combustible de uranio deberían estar preautorizadas sobre la base de una evaluación de la seguridad en consonancia con el sistema de gestión establecido.

8.21. Antes de llevar a cabo actividades de mantenimiento en zonas en las que haya material fisible (o de cerca de esas zonas), se debería consultar al personal encargado de la seguridad con respecto a la criticidad (véase también el párr. 5.6 de la publicación N° SSG-27 (Rev. 1) [2]).

8.22. Las actividades de mantenimiento en las que se utilicen fuentes radiactivas o generadores de rayos X se deberían coordinar con el personal de protección radiológica, sobre todo cuando estén realizadas por subcontratistas.

8.23. Al llevar a cabo actividades de mantenimiento en una instalación de fabricación de combustible de uranio, se debería prestar especial atención al potencial de contaminación superficial o de material radiactivo en suspensión en el aire y a peligros químicos específicos como los provocados por el fluoruro de hidrógeno, el amoníaco, el hidrógeno y el ácido nítrico.

8.24. En el mantenimiento se deberían seguir buenas prácticas, prestando especial atención a lo siguiente:

- a) el control de los trabajos (por ejemplo, entregar y devolver documentación, visitar lugares de trabajo, cambiar el alcance planificado de las tareas, suspender el trabajo, garantizar el acceso seguro);
- b) el aislamiento del equipo (por ejemplo, desconectar el equipo del suministro de energía eléctrica, las tuberías de calefacción y de presión; ventilar y purgar el equipo);

- c) las pruebas y labores de monitorización (por ejemplo, comprobaciones antes de comenzar el trabajo, monitorización durante el mantenimiento, comprobaciones para una nueva puesta en servicio);
- d) las precauciones de seguridad para el trabajo (por ejemplo, la especificación de las precauciones de seguridad, la garantía de la disponibilidad de equipo de protección individual completamente funcional y de su uso, los procedimientos de emergencia);
- e) la reinstalación del equipo (por ejemplo, volver a montarlo, volver a conectar las tuberías y los cables, realizar pruebas, limpiar el lugar de trabajo, monitorizar el equipo tras volver a ponerlo en servicio), y
- f) la verificación de que, una vez finalizado el mantenimiento, la zona de trabajo y el equipo se han vuelto a dejar en condiciones normales de seguridad.

8.25. Cambiar las configuraciones del equipo durante las actividades de mantenimiento podría dar lugar a ajustes anómalos y a la posible aparición de modos de operación imprevistos que no se hayan contemplado anteriormente en un análisis de la seguridad ni en los límites y condiciones operacionales. Esta situación se debería evitar consultando al personal encargado de la seguridad con respecto a la criticidad antes de llevar a cabo el mantenimiento en instalaciones que puedan contener uranio enriquecido o que estén ubicadas cerca de una zona de almacenamiento de uranio enriquecido.

8.26. Todos los cambios temporales en la configuración de la instalación durante las actividades de mantenimiento deben coordinarse entre especialistas en seguridad tecnológica y especialistas en seguridad física, a fin de evitar posibles conflictos (por ejemplo, pérdida del suministro de energía eléctrica en algunos sistemas de seguridad o la apertura de barreras y puertas). Se deberían implantar las medidas compensatorias que sean necesarias.

8.27. La entidad explotadora debería contar con un sistema que garantice que en el programa de retroinformación basada en la experiencia operacional se recoja, registre, analice y utilice la información y la experiencia adquiridas durante las actividades de mantenimiento.

8.28. Se debería verificar de forma periódica que el comportamiento operacional del sistema de ventilación cumple con los requisitos de protección contra incendios.

8.29. Se debería establecer un programa para la calibración y para inspecciones periódicas de la instalación, cuya finalidad sea verificar que la instalación y sus estructuras, sistemas y componentes están operando conforme a los límites

y condicionales operacionales. Las calibraciones y las inspecciones periódicas deberían estar a cargo de personal debidamente cualificado y experimentado.

8.30. Se deberían inspeccionar periódicamente los lugares en la cadena de procesos que la entidad explotadora señale como lugares en los que se pueden acumular compuestos de uranio.

## GESTIÓN DEL ENVEJECIMIENTO

8.31. La entidad explotadora debería tener en cuenta las siguientes cuestiones en la ejecución de un programa de gestión del envejecimiento de conformidad con el requisito 60 de la publicación N° SSR-4 [1]:

- a) garantizar que la dirección de la entidad explotadora apoye el programa de gestión del envejecimiento;
- b) garantizar la puesta en práctica de un programa de gestión del envejecimiento desde una etapa inicial;
- c) seguir un enfoque proactivo basado en un entendimiento adecuado del envejecimiento de las estructuras, sistemas y componentes, más que un enfoque reactivo que responda a fallos de las estructuras, sistemas y componentes;
- d) garantizar la operación óptima de las estructuras, sistemas y componentes para ralentizar la velocidad de la degradación por envejecimiento;
- e) garantizar la ejecución adecuada de las actividades de mantenimiento y ensayo de conformidad con los límites y condiciones operacionales, los requisitos de diseño y las recomendaciones de los fabricantes, y seguir los procedimientos operacionales aprobados;
- f) reducir al mínimo los factores de desempeño humano que puedan llevar a una degradación prematura, reforzando la motivación del personal, el sentido de identificación y la sensibilización, y entender los conceptos básicos de la gestión del envejecimiento;
- g) garantizar la disponibilidad y el uso de procedimientos operacionales, instrumentos y materiales adecuados y de un número suficiente de personal cualificado para una determinada tarea, y
- h) recopilar retroinformación basada en la experiencia operacional para aprender de sucesos pertinentes relacionados con el envejecimiento.

8.32. En el programa de gestión del envejecimiento se deberían tener en cuenta los aspectos físicos y no físicos del envejecimiento, y su eficacia debería evaluarse y examinarse con regularidad.

8.33. El personal de operación debería realizar, mediante comprobaciones regulares, pruebas e inspecciones periódicas como las siguientes:

- a) monitorización del deterioro;
- b) inspecciones visuales regulares de las tuberías de polvo de uranio, y
- c) monitorización de las condiciones operacionales (por ejemplo, tomando imágenes térmicas de las cabinas eléctricas o comprobando las temperaturas de los cojinetes de los ventiladores).

## CONTROL DE LAS MODIFICACIONES

8.34. En el requisito 61 de la publicación SSR-4 [1] se indica que “[l]a entidad explotadora establecerá y aplicará un programa para el control de las modificaciones en la instalación.” El sistema de gestión de una instalación de fabricación de combustible de uranio debería incluir un proceso estándar que se aplique a todas las modificaciones (véase el párr. 3.20). Para introducir modificaciones se debería utilizar el sistema de control del trabajo, los procedimientos de garantía de la calidad y los procedimientos de ensayo adecuados de la instalación.

8.35. Todas las modificaciones que se propongan deberían contener una descripción de la modificación y el motivo por el cual se proponen, proporcionar la base de la evaluación de la seguridad de la modificación, señalar todos los aspectos de la seguridad que podrían verse afectados por la modificación, y demostrar que se cuenta con disposiciones de seguridad adecuadas y suficientes para controlar los peligros potenciales.

8.36. La entidad explotadora debería elaborar directrices procedimentales y proporcionar capacitación para velar por que el personal encargado cuente con la capacitación y la autoridad necesarias para garantizar que los proyectos de modificación se estudien detenidamente (véanse los párrs. 9.57 e) y 9.58 de la publicación SSR-4 [1]). Se debería evaluar la seguridad de las modificaciones a fin de detectar peligros potenciales durante la instalación, la puesta en servicio y la explotación. Las decisiones que se adopten en relación con las modificaciones deberían ser conservadoras.

8.37. Las modificaciones propuestas deberían someterse a un estudio minucioso a cargo de personas cualificadas y con experiencia y a su aprobación por estas, a fin de verificar que los argumentos empleados para demostrar la seguridad son suficientemente sólidos. Esto reviste especial importancia cuando la modificación

puede afectar a la seguridad con respecto a la criticidad. La profundidad de los argumentos sobre la seguridad y el nivel de evaluación minuciosa a la que se sometan deberían ser proporcionales a la importancia de la modificación para la seguridad (véase también el párr. 9.59 de la publicación N° SSR-4 [1]).

8.38. Conforme al párrafo 4.31 d) de la publicación N° SSR-4 [1], el comité de seguridad deberá examinar las modificaciones propuestas. Se deberían llevar registros adecuados de sus decisiones y recomendaciones.

8.39. En la modificación también debería especificarse qué documentación se deberá actualizar a consecuencia de la modificación (por ejemplo, planes de capacitación, especificaciones, la evaluación de la seguridad, notas, dibujos, diagramas de flujo de ingeniería, diagramas de instrumentación de procesos o procedimientos operacionales). Se deberían implantar procedimientos para el control de la documentación, a fin de garantizar que los documentos se cambien dentro de un período razonable tras la modificación. Se debería informar y capacitar en consecuencia al personal antes de que comience la explotación.

8.40. Se debería utilizar un proceso de gestión adecuado como medio general para monitorizar el avance de las modificaciones en el sistema y como medio que garantice que todas las propuestas de modificaciones reciban un grado de escrutinio equivalente y suficiente. En la propuesta de modificación se deberían especificar las comprobaciones funcionales (puesta en servicio) que se deberían efectuar antes de que se pueda declarar que el sistema modificado vuelve a ser plenamente operativo.

8.41. Las modificaciones que se realicen en el diseño, la disposición o los procedimientos de la instalación podrían perjudicar al equipo de seguridad física y viceversa. Por ejemplo, un mal funcionamiento del equipo de seguridad tecnológica podría dañar el equipo de seguridad física que se encuentre cerca. Por lo tanto, además del examen de la seguridad, se debería evaluar la interrelación de las modificaciones propuestas con la seguridad física antes de su aprobación y ejecución, a fin de verificar que no se menoscaben mutuamente (véase el requisito 75 de la publicación N° SSR-4 [1]).

8.42. Las modificaciones que se realicen en una instalación (incluidas las que se realicen en la entidad explotadora) se deberían examinar de forma regular para garantizar que los efectos acumulativos de varias modificaciones de poca importancia para la seguridad no tengan efectos imprevistos sobre la seguridad general de la instalación. Esta labor debería formar parte (o añadirse) al examen periódico de la seguridad o a un proceso de examen equivalente.

8.43. La documentación de control de las modificaciones se debería conservar en la instalación de conformidad con los requisitos nacionales.

## CONTROL DE PELIGROS DE CRITICIDAD NUCLEAR

8.44. Los requisitos de seguridad con respecto a la criticidad en las instalaciones de fabricación de combustible de uranio están estipulados en el requisito 66 y los párrafos 9.83 a 9.86 de la publicación N° SSR-4 [1]; asimismo, en la publicación N° SSG-27 (Rev. 1) [2] se proporcionan recomendaciones generales. En una instalación de fabricación de combustible de uranio es de especial importancia que se apliquen de manera estricta los procedimientos establecidos para controlar los peligros de criticidad.

8.45. Se deberían tener en cuenta los aspectos operacionales del control de los peligros de criticidad en las instalaciones de fabricación de combustible de uranio, incluidos los siguientes:

- a) la prevención de cambios imprevistos en las condiciones que podrían aumentar la probabilidad de un accidente de criticidad; por ejemplo, la acumulación no planificada de polvo de uranio (por ejemplo, en los conductos de ventilación), la precipitación involuntaria de material que contenga uranio en recipientes de almacenamiento o la pérdida de absorbentes de neutrones;
- b) la gestión de los materiales de moderación, en particular el agua; por ejemplo, la descontaminación de cajas de guantes y campanas de ventilación, o en laboratorios, y las fugas de aceites desde las cajas de engranajes o el uso de un sistema contraincendios a base de agua o CO<sub>2</sub> (por ejemplo, rociadores automáticos);
- c) la gestión de la masa en la transferencia de uranio (por ejemplo, el uso de procedimientos, la medición de la masa, los sistemas o los registros) para la cual se utiliza un control seguro de la masa;
- d) las actividades auxiliares como el muestreo, la homogeneización y la mezcla;
- e) los métodos fiables para detectar la aparición de cualquiera de las condiciones anteriores;
- f) la calibración o ensayo periódicos de los sistemas para controlar los peligros de criticidad, y
- g) los simulacros de evacuación para prepararse para un suceso de criticidad o el accionamiento de una alarma.

8.46. Los instrumentos empleados para fines de contabilidad y control de materiales nucleares, como los instrumentos utilizados para realizar mediciones de masa, volumen o composición isotópica, y los programas informáticos empleados para estos fines, también pueden tener una aplicación en la esfera de la seguridad con respecto a la criticidad. Sin embargo, en el caso de que haya alguna incertidumbre sobre las características de material que contenga uranio, se deberían utilizar valores conservadores para determinar parámetros como el grado de enriquecimiento y la densidad.

8.47. Durante la realización de tareas de mantenimiento se podrían encontrar peligros de criticidad. En el análisis de la seguridad con respecto a la criticidad se debería tener en cuenta la recogida de desechos y residuos derivados de las actividades de descontaminación.

8.48. Para cualquier proceso de limpieza en húmedo, se debería establecer un límite seguro de retención de uranio. Se debería verificar que la retención de uranio se encuentre por debajo del límite seguro antes de que se pueda iniciar el proceso de limpieza en húmedo (véase también el párr. 9.88 b) de la publicación N° SSR-4 [1]).

## PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

8.49. En los párrafos 9.90 a 9.101 de la publicación N° SSR-4 [1] y de la publicación GSR Part 3 [15] se establecen los requisitos en materia de protección radiológica durante la explotación; por su parte, en la publicación *Protección radiológica ocupacional (Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GSG-7)* [31] figuran recomendaciones al respecto. La entidad explotadora debería contar con una política para optimizar la protección y la seguridad y debe garantizar que las dosis sean inferiores a los límites de dosis nacionales y se ajusten a cualquier restricción de dosis estipulada por la entidad explotadora (véase el párr. 9.91 de la publicación N° SSR-4 [1]).

8.50. En una instalación de fabricación de combustible de uranio, el principal peligro radiológico tanto para el personal como para el público proviene de la inhalación de material suspendido en el aire que contiene compuestos de uranio. En las instalaciones de fabricación de combustible de uranio, los compuestos insolubles de uranio, como el dióxido de uranio y el octaóxido de triuranio, entrañan un peligro especial debido a sus largos períodos de semidesintegración

biológica (y, por lo tanto, sus períodos de semidesintegración efectiva)<sup>4</sup> y a su habitual tamaño de partículas relativamente pequeñas (normalmente, unos pocos micrómetros de diámetro) cuando se encuentran en instalaciones de fabricación de combustible de uranio.

8.51. Como se especifica en la publicación N° GSR Part 3 [15], las intervenciones relativas a labores de mantenimiento o modificaciones son actividades que requieren la justificación y la optimización de las medidas protectoras. Los procedimientos de intervención deberían incluir lo siguiente:

- a) la estimación de la exposición externa antes de la intervención;
- b) actividades preparatorias para reducir al mínimo las dosis debidas a la exposición ocupacional, incluidas las siguientes:
  - i) determinar de manera específica los riesgos asociados con la intervención;
  - ii) especificar en el permiso de trabajo las medidas protectoras establecidas para la intervención, tales como las aplicables a la persona, así como los medios colectivos de protección (por ejemplo, uso de mascarillas, vestimenta y guantes o la limitación del tiempo).
- c) la medición de la exposición ocupacional durante la intervención, y
- d) la implantación de un mecanismo retroinformación de la información para determinar posibles mejoras.

8.52. Los riesgos de la exposición de los miembros del público se deberían reducir al mínimo garantizando que, en la medida de lo razonablemente posible, el material radiactivo se mantenga alejado o se retire de los conductos de ventilación de gases, a fin de impedir que este se libere a la atmósfera.

8.53. Los resultados de la monitorización del programa de protección radiológica se deberían comparar con los límites y las condiciones operacionales, y se deben adoptar medidas correctivas en caso necesario (véase el párr. 9.34 de la publicación N° SSR-4 [1]). Además, estos resultados de la monitorización se deberían utilizar para verificar los cálculos de dosis que se hayan realizado en la primera evaluación del impacto ambiental.

---

<sup>4</sup> El período de semidesintegración biológica es el tiempo necesario para que la cantidad de material presente en un determinado tejido, órgano o región del cuerpo (o de cualquier otra biota especificada) se reduzca a la mitad como consecuencia de procesos biológicos. El período de semidesintegración efectiva es el tiempo necesario para que la actividad de un radionucleido presente en un determinado lugar se reduzca a la mitad a consecuencia de todos los procesos pertinentes.

8.54. La exposición interna se debería controlar mediante las siguientes medidas:

- a) Se deberían establecer objetivos de desempeño para todos los parámetros relativos a la exposición interna (por ejemplo, niveles de contaminación).
- b) Los espacios cerrados y los sistemas de ventilación se deberían someter a inspecciones, pruebas y mantenimiento sistemáticos, a fin de garantizar que sigan cumpliendo sus requisitos de diseño. Se deberían llevar a cabo comprobaciones periódicas de la circulación en las campanas de ventilación y en las entradas a las zonas de confinamiento. Las caídas de presión en los bancos de los filtros de aire se deberían comprobar y registrar con regularidad. Se debería vigilar el sistema de ventilación para detectar cualquier acumulación indeseada de material fisible y radiactivo.
- c) En la instalación se debería mantener un alto nivel de organización, orden y limpieza. Se deberían utilizar técnicas de limpieza que no den lugar a la suspensión de material radiactivo en el aire (por ejemplo, el uso de aspiradoras con filtros HEPA).
- d) Se deberían realizar estudios periódicos de la contaminación de las zonas de la instalación y el equipo, para confirmar la idoneidad de los programas de limpieza.
- e) Las zonas de contaminación se deberían delinear y señalar con claridad.
- f) Se debería efectuar una monitorización continua del aire para alertar a los operadores de la instalación en el caso de que los niveles de material radiactivo suspendido en el aire superen los niveles de acción predeterminados.
- g) Se deberían utilizar muestreadores de aire móviles en los lugares en que haya posibles fuentes de contaminación, según sea necesario.
- h) Se debería llevar a cabo inmediatamente una investigación como respuesta a lecturas de altos niveles de material radiactivo suspendido en el aire.
- i) Se debería comprobar la contaminación del personal y el equipo y estos se deberían someter a procesos de descontaminación, en caso necesario, antes de abandonar las zonas de contaminación; la entrada y la salida de la zona de trabajo deberían estar controladas a fin de prevenir la dispersión de la contaminación. En particular, se deberían establecer vestuarios e instalaciones de descontaminación.
- j) Se deberían utilizar medios temporales de ventilación y medios de confinamiento cuando el trabajo intrusivo aumente la posibilidad de que se genere contaminación por material radiactivo suspendido en el aire (por ejemplo, durante ensayos, inspecciones y tareas de mantenimiento periódicos).
- k) Se debería proporcionar equipo de protección individual (por ejemplo, respiradores, guantes o vestimenta) para hacer frente a la emisión de sustancias químicas o material radiactivo procedente de medios normales

de confinamiento en circunstancias operacionales específicas (por ejemplo, durante el mantenimiento o la limpieza del equipo de procesos antes de cambiar los niveles de enriquecimiento).

- l) El equipo de protección individual se debería mantener en buen estado, se debería limpiar, según sea necesario, y se debería inspeccionar periódicamente.
- m) Todo miembro del personal que tenga heridas debería protegerlas con un recubrimiento impermeable para trabajar en zonas de contaminación.

8.55. Se deberían realizar tareas de monitorización *in vivo* y muestreo biológico, conforme sea necesario, para monitorizar las dosis que se deben a la exposición ocupacional.

8.56. El alcance y el tipo de monitorización del lugar de trabajo deberían ser proporcionales al nivel previsto de actividad suspendida en el aire, los niveles de contaminación y el tipo de radiación, y al potencial de que cualquiera de estos parámetros cambie.

8.57. Para exposiciones que se prevean bajas, el método para evaluar las dosis debidas a la exposición interna se puede basar en la recogida de datos de muestreo del aire en el lugar de trabajo, en combinación con datos de ocupación del personal. La evaluación y el examen de este método debería estar a cargo del órgano regulador, según proceda.

8.58. Al finalizar el trabajo de mantenimiento, la zona en cuestión se debería descontaminar, en caso necesario, y se debería realizar un muestreo del aire y un muestreo de las superficies mediante frotis, a fin de confirmar que la zona puede volver a su uso normal.

8.59. Además de los requisitos de seguridad industrial para la entrada en espacios confinados, en el caso de que sea necesario entrar en recipientes que hayan contenido uranio, se deberían realizar estudios de tasas de dosis dentro del recipiente para determinar si se deben establecer restricciones al tiempo de trabajo permitido.

8.60. Las dosis de radiación debidas a la exposición interna que reciban los miembros del público que residan en las inmediaciones del emplazamiento se deberían estimar de forma regular mediante la monitorización de datos sobre efluentes.

8.61. En una instalación de fabricación de combustible de uranio existen zonas limitadas en las que deben aplicarse medidas específicas para controlar la exposición externa. Un accidente de criticidad es el único suceso en el que se encontraría una alta tasa de dosis externa.

8.62. En las instalaciones de fabricación de combustible de uranio también se utilizan fuentes radiactivas y generadores de radiación para fines específicos, como los siguientes:

- a) Se utilizan fuentes radiactivas para comprobar el enriquecimiento de uranio (por ejemplo,  $^{252}\text{Cf}$  para la exploración de las barras).
- b) Se generan rayos gamma para comprobar el enriquecimiento de uranio.
- c) Se utilizan generadores de rayos X para inspeccionar las barras de combustible.

8.63. La exposición externa se debería controlar:

- a) garantizando que los lugares que contengan cantidades importantes de uranio estén alejados de zonas con una alta ocupación;
- b) retirando el uranio de los recipientes adyacentes a las zonas de trabajo que se estén utilizando para tareas de mantenimiento prolongado;
- c) garantizando que el recambio de las fuentes radiactivas esté a cargo de personas debidamente cualificadas y experimentadas, y
- d) realizando estudios sistemáticos de tasas de dosis de radiación.

8.64. El control de la exposición externa debería contemplar la dosis de neutrones, según sea necesario, especialmente en zonas en las que el  $\text{UF}_6$  se almacene a granel (se emiten neutrones a partir de la fisión espontánea y las reacciones alfa-neutrón). Además, los cilindros de  $\text{UF}_6$  recién vaciados también podrían generar dosis de radiación gamma externa que deben controlarse. Para limitar la exposición externa se necesitarán controles mucho más amplios en el procesamiento de uranio reprocesado que en el procesamiento de uranio natural.

8.65. En el caso de que en la instalación se utilice a modo de materia prima uranio procedente de fuentes distintas de las naturales (por ejemplo, uranio reciclado), se debería estudiar la posibilidad de introducir controles adicionales. Ese material tiene una actividad específica superior a la del uranio procedente de fuentes naturales y, por lo tanto, tiene el potencial de aumentar sustancialmente la exposición tanto externa como interna. También podría introducir radionucleidos adicionales en los flujos de desechos. Se debería llevar a cabo una evaluación exhaustiva de las dosis que se deben a la exposición ocupacional y la exposición

del público antes de introducir por primera vez uranio procedente de fuentes que no sean naturales.

## SEGURIDAD INDUSTRIAL Y QUÍMICA

8.66. Los requisitos relativos a la seguridad industrial y química figuran en el requisito 70 de la publicación SSR-4 [1].

8.67. Los peligros industriales y químicos presentes en las instalaciones de fabricación de combustible de uranio se pueden resumir de la siguiente manera:

- a) peligros químicos a causa de la presencia de fluoruro de hidrógeno (por ejemplo, derivado del hexafluoruro de uranio), amoníaco, ácido nítrico, ácido sulfúrico, hidróxido de potasio, hidróxido de sodio y compuestos de uranio;
- b) peligros químicos a causa de la presencia de  $UF_6$ , fluoruro de hidrógeno (incluido el producido mediante la hidrólisis del  $UF_6$  en contacto con la humedad del aire), flúor, ácido nítrico, amoníaco y compuestos de uranio;
- c) peligros de explosión debido al hidrógeno, nitrato de amonio, amoníaco, metanol y disolventes y gas licuado de petróleo, y
- d) peligros de asfixia debido a la presencia de nitrógeno o dióxido de carbono.

En las zonas pertinentes de la instalación se deberían implantar medios adecuados de detección de estas sustancias químicas.

8.68. La exposición de los trabajadores a los peligros químicos se debería evaluar utilizando un método similar al de la evaluación de las dosis de radiación y debería basarse en la recopilación de datos del muestreo del aire en el lugar de trabajo, en combinación con datos sobre la cantidad de miembros del personal en un momento dado. La evaluación y el examen de este método debería estar a cargo del órgano regulador, según proceda. En la referencia [22] se pueden encontrar los niveles aceptables de exposición ocupacional establecidos para diversos peligros químicos en instalaciones de fabricación de combustible de uranio.

8.69. El equipo de protección individual debería seleccionarse en función del peligro presente. Por ejemplo, filtros de ácido para el equipo de protección frente a ácidos, filtros de partículas para las partículas y una combinación de filtros cuando existan ambos peligros.

8.70. Se deberían realizar análisis periódicos sobre el peligro de incendio, a fin de incorporar los cambios que podrían contribuir a la posibilidad de que se produzca un incendio y a su propagación (véase el párr. 5.45). Se debería contar con equipo específico de protección contra incendios para controlar los incendios de metales.

8.71. Para reducir al mínimo el peligro de incendio de metales pirofóricos (por ejemplo, partículas de circonio o uranio), los lugares en los que se puedan acumular esos materiales se deberían monitorizar, comprobar periódicamente y limpiar de conformidad con los procedimientos. En algunos casos puede que sea necesario realizar un enjuague rutinario del equipo (por ejemplo, un lavado con un alto caudal).

8.72. En los procedimientos y la capacitación para la respuesta a incendios en zonas que contengan material fisible se debería prestar especial atención a la prevención de sucesos de criticidad y a la prevención de cualquier reducción inaceptable de los márgenes de seguridad con respecto a la criticidad.

8.73. Se debería establecer un programa de vigilancia de la salud, de conformidad con los reglamentos nacionales, para monitorizar de forma sistemática la salud del personal que podría estar expuesto a uranio y sustancias químicas conexas (por ejemplo, fluoruro de hidrógeno, berilio, amoníaco, ácido nítrico, ácido sulfúrico, hidróxido de potasio e hidróxido de sodio). Como parte del programa de vigilancia de la salud se deberían tener en cuenta tanto los efectos radiológicos como los químicos, según sea necesario.

8.74. Durante una emergencia, se debería prestar especial atención a la presencia de peligros tanto no radiológicos (químicos) como radiológicos.

## GESTIÓN DE DESECHOS Y EFLUENTES RADIATIVOS

8.75. Los requisitos relativos a la gestión de desechos y efluentes radiactivos durante la explotación se establecen en los párrafos 9.102 a 9.108 de la publicación N° SSR-4 [1].

8.76. Los gases y las sustancias químicas radiactivos se deberían tratar, cuando proceda, mediante filtros HEPA y sistemas de depuración química. Se deberían establecer criterios de comportamiento que especifiquen los niveles de desempeño en los que se deben cambiar los filtros o los medios de depuración. Después de cambiar los filtros, se deberían llevar a cabo pruebas para garantizar que los nuevos

filtros estén colocados correctamente y produzcan la eficiencia de depuración que se presupone en los análisis.

8.77. Las sustancias químicas se deberían recuperar y reutilizar, siempre que sea posible. Esta labor tiene especial importancia en el caso del ácido fluorhídrico. Conviene tener cuidado y asegurarse de que el ácido fluorhídrico sea apto para su reutilización.

8.78. La generación de desechos radiactivos sólidos se debería reducir al mínimo, retirando tanto embalaje exterior como sea posible antes de transferir el material a las zonas controladas radiológicamente. La entidad explotadora debería utilizar las mejores técnicas disponibles para reducir al mínimo la generación de desechos radiactivos (incluida la incineración, la fundición de metales y la compactación). En la medida en que sea razonablemente practicable, y de conformidad con los reglamentos nacionales, el material radiactivo se debería tratar de manera que pueda ser utilizado posteriormente. En la instalación se deberían adoptar métodos de limpieza que reduzcan al mínimo la generación de desechos.

## PREPARACIÓN Y RESPUESTA PARA CASOS DE EMERGENCIA

8.79. Los requisitos relativos a la preparación y respuesta para casos de emergencia se encuentran en el requisito 72 y en los párrafos 9.120 a 9.132 de la publicación N° SSR-4 [1] y en la publicación N° GSR Part 7 [23]; asimismo, en la publicación N° GS-G-2.1 [24] y en la publicación *Criterios aplicables a la preparación y respuesta a situaciones de emergencia nuclear o radiológica (Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GSG-2)* [32] se formulan recomendaciones al respecto. Entre las condiciones que en una instalación de fabricación de combustible de uranio podrían requerir la activación de una respuesta a emergencias fuera del emplazamiento podrían encontrarse grandes emisiones de UF<sub>6</sub>, accidentes de criticidad, incendios y explosiones, y pérdida de servicios (véase el párr. 9.126 de la publicación N° SSR-4 [1]).

8.80. En una instalación de fabricación de combustible de uranio se debería estudiar detenidamente el uso de pulverizadores de agua para hacer frente a la emisión de sustancias químicas peligrosas como el amoníaco o el ácido fluorhídrico.

8.81. Como parte de la preparación para emergencias, se deberían formular disposiciones para las interrelaciones con las organizaciones de respuesta locales, regionales y nacionales. Estas disposiciones se deberían probar periódicamente a fin de garantizar su funcionamiento eficaz durante una emergencia. Se deberían

establecer protocolos claros de comunicación y autorización con las autoridades locales, a fin de garantizar que la organización de respuesta a emergencias pueda responder de forma eficaz a una emergencia en la instalación.

8.82. La entidad explotadora debería garantizar la disponibilidad de personal con conocimientos especializados específicos sobre la naturaleza y el alcance de los peligros existentes en la instalación, así como la disponibilidad y fiabilidad de todos los suministros, equipos, sistemas de comunicación, planes, procedimientos y otras disposiciones necesarias para una respuesta eficaz en caso de emergencia. La entidad explotadora y las organizaciones de respuesta deberían desarrollar instrumentos analíticos que se puedan utilizar al inicio de una respuesta a emergencias para contribuir a la toma de decisiones sobre medidas protectoras y otras medidas de respuesta.

8.83. Como se señala en la publicación N° GSR Part 7 [23], se deberían elaborar planes de emergencias, planes de seguridad física y planes de contingencia de forma coordinada, teniendo en cuenta todas las responsabilidades del personal de la instalación y de las fuerzas de seguridad, a fin de garantizar que todas las funciones cruciales se puedan desempeñar de forma oportuna en caso de que se produzca un suceso en el que sea precisa la respuesta simultánea de ambos grupos. En los planes de respuesta a emergencias se deberían tener en cuenta sucesos de seguridad física nuclear como posibles iniciadores de una emergencia, así como sus implicaciones en situaciones de emergencia, y estos planes, además, deberían coordinarse con la respuesta en el ámbito de la seguridad física. Se deberían formular estrategias para determinar rápidamente el origen de los sucesos y desplegar a los primeros actuantes que procedan (es decir, personal de respuesta a emergencias, fuerzas de seguridad o una combinación de ambos). En estas estrategias también se deberían incluir las funciones y las actuaciones de las fuerzas de seguridad y del personal de respuesta a emergencias, prestando especial atención a las interfaces de mando coordinado y de control y a las comunicaciones. Las fuerzas de seguridad y el personal de respuesta a emergencias deberían llevar a cabo y evaluar conjuntamente la respuesta a esos sucesos. A partir de estos ejercicios o evaluaciones se deberían extraer enseñanzas y formular recomendaciones para mejorar la respuesta global a un posible suceso.

8.84. Para establecer procedimientos de control del acceso en caso de emergencia, cuando exista la necesidad de que el personal entre y salga rápidamente, los especialistas en seguridad tecnológica y los especialistas en seguridad física deberían cooperar estrechamente. En una emergencia se deberían cumplir tanto los objetivos de seguridad tecnológica como los objetivos de seguridad física, de

conformidad con los requisitos reglamentarios. Cuando esto no sea posible, se debería adoptar la mejor solución que tenga en cuenta ambos objetivos.

## RETROINFORMACIÓN BASADA EN LA EXPERIENCIA OPERACIONAL

8.85. En los párrafos 9.133 a 9.137 de la publicación N° SSR-4 [1] se establecen los requisitos aplicables a la retroinformación basada en la experiencia operacional. En la publicación N° SSG-50 [12] se ofrecen más recomendaciones sobre el programa de experiencia operacional.

8.86. El programa de retroinformación basada en la experiencia operacional en instalaciones de fabricación de combustible de uranio debería abarcar la experiencia y las enseñanzas extraídas de sucesos y accidentes en la instalación, así como de otras instalaciones del ciclo del combustible nuclear de todo el mundo y otros accidentes no nucleares pertinentes. También debería incluir una evaluación de las tendencias en materia de perturbaciones operacionales y de funcionamiento defectuoso, cuasi accidentes y otros incidentes que hayan tenido lugar en instalaciones de fabricación de combustible de uranio y, en la medida de lo posible, en otras instalaciones nucleares. El programa también debería tener en cuenta factores técnicos, organizativos y humanos. En la base de datos del Sistema de Notificación y Análisis de Incidentes relacionados con el Combustible (FINAS) (véase la ref. [29]) se proporciona información útil sobre las causas y consecuencias de muchas de las anomalías y accidentes más importantes que se han observado en instalaciones de fabricación de combustible de uranio y otras instalaciones del ciclo del combustible nuclear.

## 9. PREPARACIÓN PARA LA CLAUSURA DE INSTALACIONES DE FABRICACIÓN DE COMBUSTIBLE DE URANIO

9.1. En los párrafos 10.1 a 10.13 de la publicación N° SSR-4 [1] y en la publicación *Clausura de instalaciones (Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GSR Part 6)* [33] se establecen requisitos para los preparativos de la clausura segura de instalaciones de fabricación de combustible de uranio.

9.2. La clausura de las instalaciones de fabricación de combustible de uranio es menos compleja que la de otras instalaciones del ciclo del combustible debido a la baja actividad específica del UPE que se procesa durante la vida operacional de esas instalaciones. Por lo tanto, la inmensa mayoría de los desechos radiactivos sólidos que surjan de la instalación estará compuesta de desechos de actividad baja e intermedia o de desechos exentos.

9.3. Durante los preparativos para la clausura se deberían aplicar medidas especiales a fin de garantizar que se mantenga el control de la criticidad durante el manejo de equipo que contenga material nuclear, cuya subcriticidad se controla mediante geometría, moderación o absorción. También se debería prestar atención a posibles cambios en la forma del material fisible.

9.4. Además de los preparativos generales para la clausura que se describen en la publicación *Decommissioning of Nuclear Power Plants, Research Reactors and Other Nuclear Fuel Cycle Facilities (Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° SSG-47)* [34], se deberían seguir los siguientes preparativos específicos para instalaciones de fabricación de combustible de uranio:

- a) se debería llevar a cabo una limpieza posterior a la etapa de explotación para retirar todas las cantidades a granel de uranio y otros materiales peligrosos;
- b) se debería señalar cualquier terreno (superficie y subsuelo), aguas subterráneas, partes de edificios y equipo contaminados con materiales radiactivos o materiales químicos y sus niveles de contaminación, utilizando para ello medios de caracterización exhaustiva del emplazamiento, y
- c) se deberían elaborar evaluaciones del riesgo y declaraciones de métodos para la concesión de licencias del proceso de clausura.

9.5. El plan de clausura de las instalaciones de fabricación de combustible de uranio se debería elaborar siguiendo las recomendaciones que figuran en la publicación N° SSG-47 [34]. Se debería prestar especial atención a los siguientes elementos:

- a) descripción del estado de la instalación al comienzo de la clausura, incluida la lista de sistemas que deberían estar en funcionamiento;
- b) determinación de métodos de descontaminación de la instalación para alcanzar los niveles estipulados por el órgano regulador para las operaciones de limpieza o el nivel más bajo de contaminación residual que se pueda alcanzar de manera razonable;
- c) preparación de evaluaciones del riesgo y declaraciones de métodos para el proceso de clausura, y

d) preparativos para el desmantelamiento del equipo de procesos.

9.6. El plan de clausura elaborado y la evaluación de la seguridad se deberían examinar y actualizar periódicamente durante las fases de puesta en servicio y explotación de la instalación (véanse los requisitos 8 y 10 de la publicación N° GSR Part 6 [33]), de manera que se tengan en cuenta la información nueva y las tecnologías emergentes, a fin de garantizar lo siguiente:

- a) que el plan de clausura (actualizado) sea realista y se pueda aplicar de manera segura;
- b) que se actualicen las provisiones relativas a los recursos adecuados y su disponibilidad, cuando sea necesario, y
- c) que los desechos radiactivos previstos sigan siendo compatibles con las capacidades de almacenamiento disponibles (o planificadas) y la disposición final, teniendo en cuenta su transporte y procesamiento.

## REFERENCIAS

- [1] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, *Seguridad de las instalaciones del ciclo del combustible nuclear, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° SSR-4*, OIEA, Viena, 2019.
- [2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Criticality Safety in the Handling of Fissile Material*, IAEA Safety Standards Series No. SSG-27 (Rev. 1), IAEA, Vienna (2022).
- [3] 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.
- [4] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, *Recomendaciones de seguridad física nuclear sobre la protección física de los materiales y las instalaciones nucleares (INFCIRC/225/Rev.5)*, Colección de Seguridad Física Nuclear del OIEA N° 13, OIEA, Viena, 2012.
- [5] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, *Protección física de los materiales y las instalaciones nucleares (aplicación del documento INFCIRC/225/Rev. 5)*, Colección de Seguridad Física Nuclear del OIEA N° 27-G, OIEA, Viena, 2019.
- [6] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, *Liderazgo y gestión en pro de la seguridad, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GSR Part 2*, OIEA, Viena, 2017.
- [7] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, *Aplicación del sistema de gestión de instalaciones y actividades, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GS-G-3.1*, Viena, 2016.

- [8] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, *Sistema de gestión de instalaciones nucleares, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GS-G-3.5*, OIEA, Viena, 2017.
- [9] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Leadership, Management and Culture for Safety in Radioactive Waste Management*, IAEA Safety Standards Series No. GSG-16, IAEA, Vienna (2022).
- [10] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, *Sistema de gestión para el transporte seguro de materiales radiactivos, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° TS-G-1.4*, OIEA, Viena, 2018.
- [11] 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.
- [12] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Operating Experience Feedback for Nuclear Installations*, IAEA Safety Standards Series No. SSG-50, IAEA, Vienna (2018).
- [13] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, *Evaluación del emplazamiento de instalaciones nucleares, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° SSR-1*, OIEA, Viena, 2021.
- [14] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Site Survey and Site Selection for Nuclear Installations*, IAEA Safety Standards Series No. SSG-35, IAEA, Vienna (2015).
- [15] 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.
- [16] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, *Prospective Radiological Environmental Impact Assessment for Facilities and Activities*, IAEA Safety Standards Series No. GSG-10, IAEA, Vienna (2018).
- [17] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations*, IAEA Safety Standards Series No. SSG-9 (Rev. 1), IAEA, Vienna (2022).
- [18] 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).
- [19] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Volcanic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations*, IAEA Safety Standards Series No. SSG-21, IAEA, Vienna (2012).
- [20] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Design of Nuclear Installations Against External Events Excluding Earthquakes*, IAEA Safety Standards Series No. SSG-68, IAEA, Vienna (2021).

- [21] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety Reassessment for Nuclear Fuel Cycle Facilities in Light of the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, Safety Reports Series No. 90, IAEA, Vienna (2016).
- [22] AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS, 2021 Threshold Limit Values (TLVs) and Biological Exposure Indices (BEIs), ACGIH, Cincinnati, OH (2021).
- [23] 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.
- [24] OFICINA DE COORDINACIÓN DE ASUNTOS HUMANITARIOS DE LAS NACIONES UNIDAS, OFICINA INTERNACIONAL DEL TRABAJO, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, *Disposiciones de preparación para emergencias nucleares o radiológicas, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GS-G-2.1*, OIEA, Viena, 2010. (Se está preparando una versión revisada de esta publicación).
- [25] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, *Gestión previa a la disposición final de desechos radiactivos, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GSR Part 5*, OIEA, Viena, 2010.
- [26] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, *Justificación de la seguridad y evaluación de la seguridad en relación con la gestión previa a la disposición final de desechos radiactivos, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GSG-3*, OIEA, Viena, 2024.
- [27] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, *Clasificación de desechos radiactivos, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GSG-1*, OIEA, Viena, 2015.
- [28] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Predisposal Management of Radioactive Waste from Nuclear Fuel Cycle Facilities, IAEA Safety Standards Series No. SSG-41, IAEA, Vienna (2016).
- [29] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, IAEA/NEA Fuel Incident Notification and Analysis System (FINAS) Guidelines, IAEA Services Series No. 14, IAEA, Vienna (2006).

- [30] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Construction for Nuclear Installations, IAEA Safety Standards Series No. SSG-38, IAEA, Vienna (2015).
- [31] 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.
- [32] 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.
- [33] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, *Clausura de instalaciones, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GSR Part 6*, OIEA, Viena, 2017.
- [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).

## Anexo I

### RUTAS DE PROCESO TÍPICAS EN UNA INSTALACIÓN DE FABRICACIÓN DE COMBUSTIBLE DE URANIO

I-1. En la figura I-1 se muestran las rutas de proceso típicas en una instalación de fabricación de combustible de uranio.

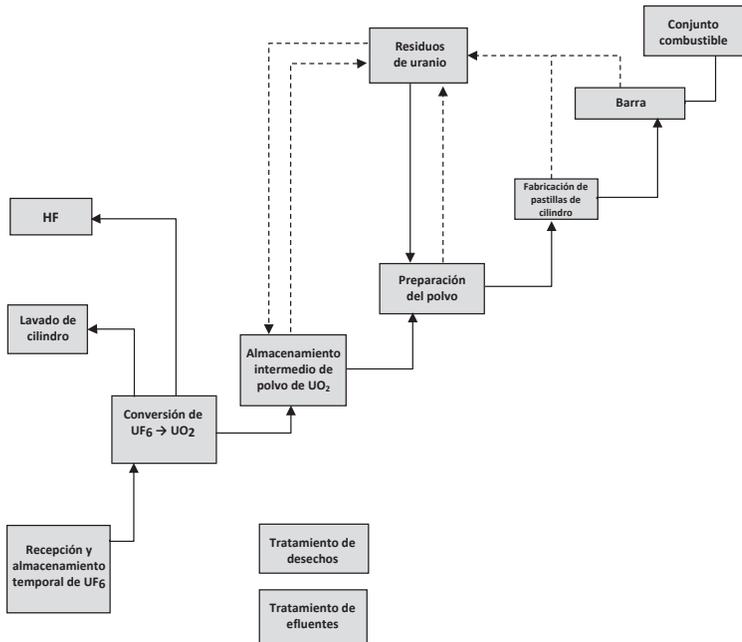


Fig. I-1. Rutas de proceso típicas en una instalación de fabricación de combustible de uranio.

## **Anexo II**

### **EJEMPLOS DE ESTRUCTURAS, SISTEMAS Y COMPONENTES DE IMPORTANCIA PARA LA SEGURIDAD Y POSIBLES DESAFÍOS PARA LAS FUNCIONES DE SEGURIDAD EN INSTALACIONES DE FABRICACIÓN DE COMBUSTIBLE DE URANIO**

II-1. En este anexo se proporcionan ejemplos de estructuras, sistemas y componentes de importancia para la seguridad que se pueden utilizar al establecer límites y condiciones operacionales para cada zona de procesos. Una función de seguridad, según se utiliza en el cuadro II-1, puede servir para una o más de las siguientes finalidades:

- 1) prevención de la criticidad;
- 2) confinamiento para la protección frente a la exposición interna y los peligros químicos, y
- 3) protección contra la exposición externa.

CUADRO II-1. EJEMPLOS DE ESTRUCTURAS, SISTEMAS Y COMPONENTES DE IMPORTANCIA PARA LA SEGURIDAD Y POSIBLES DESAFÍOS PARA LAS FUNCIONES DE SEGURIDAD EN INSTALACIONES DE FABRICACIÓN DE COMBUSTIBLE DE URANIO

Zona de procesos	Estructuras, sistemas y componentes de importancia para la seguridad	Sucesos	Función de seguridad inicialmente sujeta a desafíos
Recepción y almacenamiento temporal de cilindros de UF <sub>6</sub>	Medios de transporte	Ruptura del cilindro	(2)
	Dispositivo para medir el enriquecimiento en <sup>235</sup> U	Procesamiento de uranio que excede los límites de seguridad	(1)
	Báscula para pesar cilindros	Ruptura del cilindro	(1), (2)
	Blindaje	Aumento de la tasa de dosis	(3)
Zona de conversión	Horno de vaporización	Ruptura del cilindro	(1), (2)
	Dispositivo de detección de fugas de cilindros	Emisión de uranio o HF	(1), (2)
	— Dispositivo de calentamiento — Dispositivo de detección de alta temperatura en cilindros	Ruptura del cilindro	(1), (2)

CUADRO II-1. EJEMPLOS DE ESTRUCTURAS, SISTEMAS Y COMPONENTES DE IMPORTANCIA PARA LA SEGURIDAD Y POSIBLES DESAFÍOS PARA LAS FUNCIONES DE SEGURIDAD EN INSTALACIONES DE FABRICACIÓN DE COMBUSTIBLE DE URANIO (cont.)

Zona de procesos	Estructuras, sistemas y componentes de importancia para la seguridad	Sucesos	Función de seguridad inicialmente sujeta a desafíos
	Recipiente de reacción y horno rotatorio	— Emisión de uranio, HF y gases de procesos — Degradación del margen de criticidad (moderación, geometría)	(1), (2)
	Dispositivo de detección de baja temperatura del horno	Condensación de agua en el horno	(1)
	— Trabajo en tuberías de H <sub>2</sub> — Dispositivo de detección de H <sub>2</sub>	Explosión	(2)
	Dispositivo de medición para determinar la humedad del polvo	Degradación del margen de seguridad con respecto a la criticidad (moderación)	(1)
	Tanques de HF	Emisión de HF	(2)
	Instalaciones para el tratamiento de efluentes gaseosos	Emisión de HF al medio ambiente	(2)
Almacena- miento intermedio de polvo de óxido de uranio	Contenedores de polvo	— Emisión de uranio — Degradación del margen de seguridad con respecto a la criticidad (absorbente de neutrones)	(1), (2), (3)

CUADRO II-1. EJEMPLOS DE ESTRUCTURAS, SISTEMAS Y COMPONENTES DE IMPORTANCIA PARA LA SEGURIDAD Y POSIBLES DESAFÍOS PARA LAS FUNCIONES DE SEGURIDAD EN INSTALACIONES DE FABRICACIÓN DE COMBUSTIBLE DE URANIO (cont.)

Zona de procesos	Estructuras, sistemas y componentes de importancia para la seguridad	Sucesos	Función de seguridad inicialmente sujeta a desafíos
	Básculas	Degradación del margen de seguridad con respecto a la criticidad (masa)	(1)
	Estanterías	— Emisión de uranio — Degradación del margen de seguridad con respecto a la criticidad (geometría)	(1), (2)
	Blindaje	Aumento de la tasa de dosis	(3)
Preparación del polvo	Zonas de almacenamiento, mezcladoras, granuladoras, tuberías	— Emisión de uranio — Abultamiento del recipiente	(2), (3) (1)
	Dispositivo para controlar la cantidad de aditivos	Degradación del margen de seguridad con respecto a la criticidad (humedad)	(1)
	Dispositivo de detección de humedad elevada en tolvas de polvo de uranio	Degradación del margen de seguridad con respecto a la criticidad (humedad)	(1)
Taller de fabricación de pastillas	Prensas	Emisión de uranio	(2), (3)
	Hornos de sinterización	Explosión	(2)

CUADRO II-1. EJEMPLOS DE ESTRUCTURAS, SISTEMAS Y COMPONENTES DE IMPORTANCIA PARA LA SEGURIDAD Y POSIBLES DESAFÍOS PARA LAS FUNCIONES DE SEGURIDAD EN INSTALACIONES DE FABRICACIÓN DE COMBUSTIBLE DE URANIO (cont.)

Zona de procesos	Estructuras, sistemas y componentes de importancia para la seguridad	Sucesos	Función de seguridad inicialmente sujeta a desafíos
	— Trabajo en tuberías de H <sub>2</sub> — Dispositivo de detección de H <sub>2</sub>	Explosión	(2)
	Máquinas de molienda	Emisión de uranio	(2), (3)
	Recuperación de lodos a partir de molienda en húmedo	Degradación del margen de seguridad con respecto a la criticidad (geometría, moderación, masa)	(1)
	Almacenamiento de pastillas	— Emisión de uranio — Degradación del margen de seguridad con respecto a la criticidad (geometría, absorbente de neutrones)	(2), (3) (1)
Laboratorio	Prensa, horno de sinterización, máquina de molienda	Véanse otras zonas de proceso enumeradas anteriormente	(1), (2)
	Blindaje de almacenamiento	Aumento de la tasa de dosis	(3)
Fabricación de barras de combustible	Cargador de barras	Emisión de uranio	(2)
	Máquinas soldadoras	— Emisión de uranio — Incendio debido a partículas de circonio	(2)

CUADRO II-1. EJEMPLOS DE ESTRUCTURAS, SISTEMAS Y COMPONENTES DE IMPORTANCIA PARA LA SEGURIDAD Y POSIBLES DESAFÍOS PARA LAS FUNCIONES DE SEGURIDAD EN INSTALACIONES DE FABRICACIÓN DE COMBUSTIBLE DE URANIO (cont.)

Zona de procesos	Estructuras, sistemas y componentes de importancia para la seguridad	Sucesos	Función de seguridad inicialmente sujeta a desafíos
	Escáner de barras	Exposición externa	(3)
	Almacenamiento de barras de combustible	Degradación del margen de seguridad con respecto a la criticidad (geometría, absorbente de neutrones, moderación, humedad)	(1)
	Blindaje de almacenamiento	Aumento de la tasa de dosis	(3)
Fabricación de conjuntos combustibles	Cadenas de ensamblaje	— Degradación del margen de seguridad con respecto a la criticidad (geometría, absorbente de neutrones)	(1)
		— Incendio debido a partículas de circonio	(2)
	Grúas	Conjunto combustible caído	(1), (2)
	Instalaciones de lavado	Degradación del margen de seguridad con respecto a la criticidad (geometría, absorbente de neutrones)	(1)
	Almacenamiento de conjuntos combustibles	Degradación del margen de seguridad con respecto a la criticidad (geometría, humedad)	(1), (3)

CUADRO II-1. EJEMPLOS DE ESTRUCTURAS, SISTEMAS Y COMPONENTES DE IMPORTANCIA PARA LA SEGURIDAD Y POSIBLES DESAFÍOS PARA LAS FUNCIONES DE SEGURIDAD EN INSTALACIONES DE FABRICACIÓN DE COMBUSTIBLE DE URANIO (cont.)

Zona de procesos	Estructuras, sistemas y componentes de importancia para la seguridad	Sucesos	Función de seguridad inicialmente sujeta a desafíos
	Blindaje de almacenamiento	Aumento de la tasa de dosis	(3)
Recuperación de residuos de uranio	Hornos, recipientes, tuberías	— Emisión de uranio — Degradación del margen de seguridad con respecto a la criticidad (geometría, masa) — Explosión (H <sub>2</sub> , sustancias químicas) — Incendio	(1), (2)
Tratamiento de desechos radiactivos	Instalaciones de tratamiento	— Emisión de uranio — Emisión de sustancias químicas — Incendio	(1), (2)
	Dispositivos para medir el contenido de uranio	Degradación del margen de seguridad con respecto a la criticidad (masa)	(1)
	Almacenamiento de desechos radiactivos	Incendio	(1), (2)
Edificio	Zonas para actividades nucleares y químicas	Pérdida del confinamiento	(2)
Sistema de ventilación	Ventilador y filtros para la entrada de aire	Incendio	(2)
	Sistema de control de la ventilación	Emisión no controlada de uranio	(2)

CUADRO II-1. EJEMPLOS DE ESTRUCTURAS, SISTEMAS Y COMPONENTES DE IMPORTANCIA PARA LA SEGURIDAD Y POSIBLES DESAFÍOS PARA LAS FUNCIONES DE SEGURIDAD EN INSTALACIONES DE FABRICACIÓN DE COMBUSTIBLE DE URANIO (cont.)

Zona de procesos	Estructuras, sistemas y componentes de importancia para la seguridad	Sucesos	Función de seguridad inicialmente sujeta a desafíos
	Filtros dentro de las zonas de procesos	— Incendio — Degradación del margen de seguridad con respecto a la criticidad (masa)	(1), (2)
	Conductos para el aire y los gases de procesos	Degradación del margen de seguridad con respecto a la criticidad (masa)	(1)
	Fase final del filtro para el conducto de expulsión de aire	Incendio	(2)
	Ventilador para el conducto de expulsión de aire, chimenea	Emisión no controlada de uranio	(2)
	Dispositivos de medición de radiactividad en el conducto de expulsión de aire	Emisión no controlada de uranio	(2), (3)
Tratamiento y emisión de agua	Tanque	Emisión no controlada de uranio	(1), (2)
	Instalaciones de tratamiento	Emisión no controlada de uranio	(2)
	Dispositivos de medición de radiactividad en el agua	Emisión no controlada de uranio	(1), (2)

CUADRO II-1. EJEMPLOS DE ESTRUCTURAS, SISTEMAS Y COMPONENTES DE IMPORTANCIA PARA LA SEGURIDAD Y POSIBLES DESAFÍOS PARA LAS FUNCIONES DE SEGURIDAD EN INSTALACIONES DE FABRICACIÓN DE COMBUSTIBLE DE URANIO (cont.)

Zona de procesos	Estructuras, sistemas y componentes de importancia para la seguridad	Sucesos	Función de seguridad inicialmente sujeta a desafíos
Lavado de cilindros	Blindaje	Aumento de la tasa de dosis	(3)
Sistema de suministro eléctrico	Sistema de suministro eléctrico de emergencia	Emisión de uranio en condiciones de pérdida de ventilación debido a la pérdida de suministro eléctrico	(2)

## **Anexo III**

### **EJEMPLOS DE PARÁMETROS PARA DEFINIR LÍMITES Y CONDICIONES OPERACIONALES PARA INSTALACIONES DE FABRICACIÓN DE COMBUSTIBLE DE URANIO**

III-1. En el cuadro III-1 se brindan ejemplos de parámetros para definir límites y condiciones operacionales para instalaciones de fabricación de combustible de uranio.

CUADRO III-1. EJEMPLOS DE PARÁMETROS PARA DEFINIR LÍMITES Y CONDICIONES OPERACIONALES PARA INSTALACIONES DE FABRICACIÓN DE COMBUSTIBLE DE URANIO

Zona de procesos (incluidas las zonas de almacenamiento)	Parámetros para definir límites y condiciones operacionales
Zona de recepción y almacenamiento temporal de cilindros de UF <sub>6</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Nivel de moderación</li> <li>— Enriquecimiento</li> <li>— Masa</li> <li>— Composición de UF<sub>6</sub></li> <li>— Contaminación superficial</li> </ul>
Edificio	Estanquidad
Zona de conversión	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Nivel de moderación</li> <li>— Presión en el equipo de procesos</li> <li>— Temperatura en el equipo de procesos</li> <li>— Composición del gas de los procesos</li> <li>— Contenido de HF en los efluentes gaseosos de los procesos</li> <li>— Contenido de uranio en los productos secundarios</li> <li>— Contaminación superficial del equipo de procesos</li> </ul>
Almacenamiento intermedio de polvo de óxido de uranio	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Nivel de moderación</li> <li>— Masa en cubos</li> <li>— Masa de absorbente en bidones</li> <li>— Geometría de las estanterías</li> <li>— Contaminación superficial del equipo de procesos</li> </ul>
Preparación del polvo	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Humedad relativa en la zona de procesos</li> <li>— Geometría de la tolva de losa</li> <li>— Integridad de las cadenas de polvo y contenedores de polvo</li> <li>— Cantidad de aditivos (moderador)</li> <li>— Nivel de moderación</li> <li>— Masa en cubos</li> <li>— Masa de absorbente en bidones</li> <li>— Humedad del polvo</li> </ul>

CUADRO III-1. EJEMPLOS DE PARÁMETROS PARA DEFINIR LÍMITES Y CONDICIONES OPERACIONALES PARA INSTALACIONES DE FABRICACIÓN DE COMBUSTIBLE DE URANIO (cont.)

Zona de procesos (incluidas las zonas de almacenamiento)	Parámetros para definir límites y condiciones operacionales
Taller de fabricación de pastillas	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Humedad del polvo</li> <li>— Masa en cubos</li> <li>— Masa de absorbente en bidones</li> <li>— Geometría de las estanterías</li> <li>— Altura de las pastillas verdes en las bandejas de sinterización</li> <li>— Temperatura del horno de sinterización</li> <li>— Composición de la atmósfera en el horno de sinterización</li> <li>— Altura de las chimeneas de las bandejas de pastillas</li> <li>— Geometría de las estanterías</li> <li>— Contaminación superficial de fuentes radiactivas y equipo de procesos</li> </ul>
Laboratorio	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Masa de uranio</li> <li>— Contenido de uranio en los desechos</li> <li>— Niveles de contaminación superficial de fuentes radiactivas y equipo de procesos</li> </ul>
Zona de fabricación y almacenamiento de barras de combustible	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Altura de las chimeneas de las bandejas de pastillas</li> <li>— Geometría de las estanterías</li> <li>— Contaminación de las barras</li> <li>— Geometría de la transferencia de barras</li> <li>— Geometría de las fundas de barras</li> <li>— Niveles de contaminación superficial de las fuentes radiactivas</li> </ul>
Zona de fabricación y almacenamiento de conjuntos combustibles	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Posición de absorbentes de neutrones</li> <li>— Geometría del almacenamiento</li> </ul>
Recuperación de residuos de uranio	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Geometría de los recipientes</li> <li>— Masa de uranio</li> <li>— Contenido de uranio en los desechos</li> </ul>
Tratamiento de desechos radiactivos	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Masa de uranio</li> <li>— Contenido de uranio en los desechos</li> </ul>

CUADRO III-1. EJEMPLOS DE PARÁMETROS PARA DEFINIR LÍMITES Y CONDICIONES OPERACIONALES PARA INSTALACIONES DE FABRICACIÓN DE COMBUSTIBLE DE URANIO (cont.)

Zona de procesos (incluidas las zonas de almacenamiento)	Parámetros para definir límites y condiciones operacionales
Sistema de ventilación	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Fases de presión en el edificio</li> <li>— Masa de uranio (por ejemplo, en filtros de prefiltración)</li> <li>— Vacío en líneas de muestreo</li> <li>— Contenido de uranio en el conducto de expulsión de aire</li> </ul>
Tratamiento y emisión de agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Concentración de uranio</li> <li>— Contenido de uranio en el agua emitida</li> </ul>

## COLABORADORES EN LA REDACCIÓN Y LA REVISIÓN

Amalraj, J.	Comisión Canadiense de Seguridad Nuclear (Canadá)
Bogdanova, T.	Servicio Federal de Supervisión Ambiental, Industrial y Nuclear de Rusia (Federación de Rusia)
Casoli, B.	Instituto de Radioprotección y Seguridad Nuclear (Francia)
Costa, C.G.S.	Industrias Nucleares del Brasil (Brasil)
Faraz, Y.	Comisión Reguladora Nuclear (Estados Unidos de América)
Groche, K.	Consultor (Alemania)
Khotylev, V.	Comisión Canadiense de Seguridad Nuclear (Canadá)
Michaelson, T.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Rovny, J.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Shokr, A.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Visser, T.	URENCO (Reino de los Países Bajos)





# IAEA

Organismo Internacional de Energía Atómica

Nº 27

## PEDIDOS DE PUBLICACIONES

Las publicaciones de pago del OIEA pueden adquirirse a través de nuestro distribuidor principal o en las principales librerías locales.

Los pedidos de publicaciones gratuitas deben hacerse directamente al OIEA.

### **Pedidos de publicaciones de pago**

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

#### **Eurospan**

1 Bedford Row  
Londres WC1R 4BU  
Reino Unido

#### **Pedidos comerciales y consultas:**

Teléfono: +44 (0)1235 465576  
Correo electrónico: [trade.orders@marston.co.uk](mailto:trade.orders@marston.co.uk)

#### **Pedidos individuales:**

Teléfono: +44 (0)1235 465577  
Correo electrónico: [direct.orders@marston.co.uk](mailto:direct.orders@marston.co.uk)  
[www.eurospanbookstore.com/iaea](http://www.eurospanbookstore.com/iaea)

#### **Para más información:**

Teléfono: +44 (0) 207 240 0856  
Correo electrónico: [info@eurospan.co.uk](mailto:info@eurospan.co.uk)  
[www.eurospan.co.uk](http://www.eurospan.co.uk)

### **Los pedidos de publicaciones, tanto de pago como gratuitas, pueden enviarse directamente 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](mailto:sales.publications@iaea.org)  
[www.iaea.org/es/publicaciones](http://www.iaea.org/es/publicaciones)





# Seguridad mediante las normas internacionales

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA  
VIENA