

# Normas de seguridad del OIEA

para la protección de las personas y el medio ambiente

## Programas de gestión de accidentes muy graves para centrales nucleares

Guía de seguridad

Nº NS-G-2.15



**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 serie de publicaciones abarca la seguridad nuclear, radiológica, del transporte y de los desechos. Esta serie 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 en Internet:

<http://www-ns.iaea.org/standards/>

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 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 en Internet 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 del artículo III y del artículo 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 Seguridad Física 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.

PROGRAMAS DE GESTIÓN  
DE ACCIDENTES MUY GRAVES  
PARA CENTRALES NUCLEARES

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

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

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

COLECCIÓN DE  
NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA N° NS-G-2.15

PROGRAMAS DE GESTIÓN  
DE ACCIDENTES MUY GRAVES  
PARA CENTRALES NUCLEARES

GUÍA DE SEGURIDAD

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA  
VIENA, 2016

## DERECHOS DE AUTOR

Todas las publicaciones científicas y técnicas del OIEA están protegidas en virtud de la Convención Universal sobre Derecho de Autor aprobada en 1952 (Berna) y revisada en 1972 (París). Desde entonces, la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (Ginebra) ha ampliado la cobertura de los derechos de autor que ahora incluyen la propiedad intelectual de obras electrónicas y virtuales. Para la utilización de textos completos, o parte de ellos, que figuren en publicaciones del OIEA, impresas o en formato electrónico, deberá obtenerse la correspondiente autorización, y por lo general dicha utilización estará sujeta a un acuerdo de pago de regalías. Se aceptan propuestas relativas a reproducción y traducción sin fines comerciales, que se examinarán individualmente. Las solicitudes de información deben dirigirse a la Sección Editorial del OIEA:

Dependencia de Mercadotecnia y Venta  
Sección Editorial  
Organismo Internacional de Energía Atómica  
Centro Internacional de Viena  
PO Box 100  
1400 Viena (Austria)  
fax: +43 1 2600 29302  
tel.: +43 1 2600 22417  
Correo electrónico: [sales.publications@iaea.org](mailto:sales.publications@iaea.org)  
<http://www.iaea.org/books>

© OIEA, 2016

Impreso por el OIEA en Austria  
Octubre de 2016  
STI/PUB/1376

PROGRAMAS DE GESTIÓN  
DE ACCIDENTES GRAVES  
PARA CENTRALES NUCLEARES  
OIEA, VIENA, 2016  
STI/PUB/1376  
ISBN 978-92-0-310115-8  
ISSN 1020-5837

## PRÓLOGO

El OIEA está autorizado por su Estatuto a establecer normas de seguridad para proteger la salud y reducir al mínimo el peligro para la vida y la propiedad — normas que el OIEA debe utilizar en sus propias operaciones, y que un Estado puede aplicar mediante sus disposiciones de reglamentación de la seguridad nuclear y radiológica. Ese amplio conjunto de normas de seguridad revisadas periódicamente, junto a la asistencia del OIEA para su aplicación, se ha convertido en elemento clave de un régimen de seguridad mundial.

A mediados del decenio de 1990 se inició una importante reorganización del programa de normas de seguridad del OIEA, modificándose la estructura del comité de supervisión y adoptándose un enfoque sistemático para la actualización de todo el conjunto de normas. Las nuevas normas son de gran calidad y reflejan las mejores prácticas utilizadas en los Estados Miembros. Con la asistencia de la Comisión sobre Normas de Seguridad, el OIEA está llevando a cabo actividades para promover la aceptación y el uso a escala mundial de sus normas de seguridad.

Sin embargo, las normas de seguridad sólo pueden ser eficaces si se aplican correctamente en la práctica. Los servicios de seguridad del OIEA, que van desde la seguridad técnica, la seguridad operacional y la seguridad radiológica, del transporte y de los desechos hasta cuestiones de reglamentación y de cultura de la seguridad en las organizaciones, prestan asistencia a los Estados Miembros en la aplicación de las normas y la evaluación de su eficacia. Estos servicios de seguridad permiten compartir valiosos conocimientos, por lo que se exhorta a todos los Estados Miembros a que hagan uso de ellos.

La reglamentación de la seguridad nuclear y radiológica es una responsabilidad nacional, y son muchos los Estados Miembros que han decidido adoptar las normas de seguridad del OIEA para incorporarlas en sus reglamentos nacionales. Para las Partes Contratantes en las diversas convenciones internacionales sobre seguridad, las normas del OIEA son un medio coherente y fiable de asegurar el eficaz cumplimiento de las obligaciones contraídas en virtud de las convenciones. Los encargados del diseño, los fabricantes y los explotadores de todo el mundo también aplican las normas para mejorar la seguridad nuclear y radiológica en la generación de electricidad, la medicina, la industria, la agricultura, la investigación y la educación.

El OIEA asigna gran importancia al permanente problema que significa para los usuarios y los reguladores en general garantizar un elevado nivel de seguridad en la utilización de los materiales nucleares y las fuentes de radiación en todo el mundo. Su continua utilización en beneficio de la humanidad debe gestionarse de manera segura, objetivo a cuyo logro contribuyen las normas de seguridad del OIEA.





# **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 asociados a las radiaciones que estas aplicaciones pueden entrañar para los trabajadores y la población 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 asociados a las radiaciones 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 dañinas.

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 éste, 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.

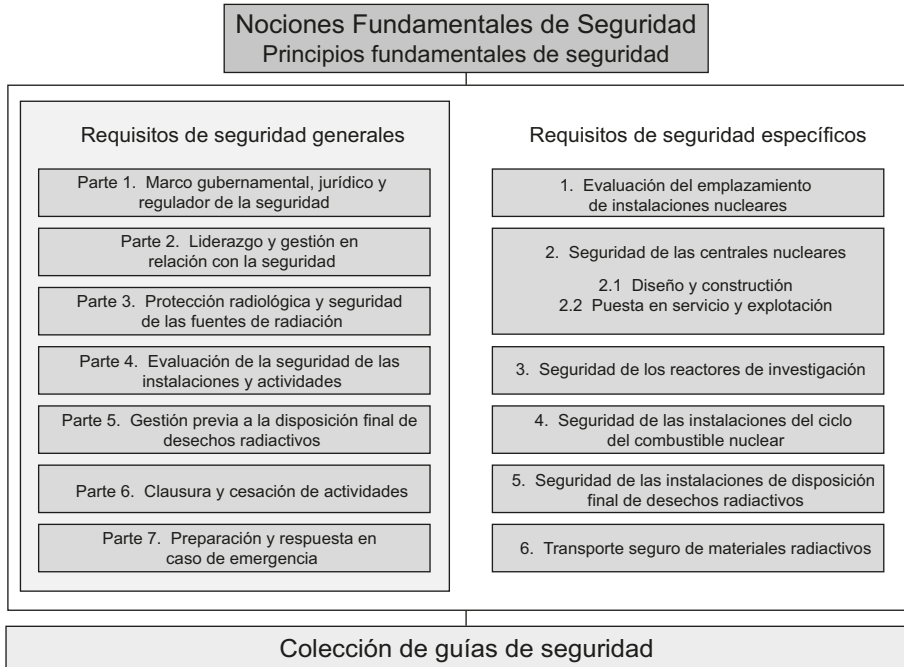
Las normas de seguridad del OIEA reflejan un consenso internacional con respecto a lo que constituye un alto grado de seguridad para proteger a las personas y el medio ambiente contra los efectos nocivos de la radiación ionizante. Las normas se publican en la Colección de Normas de Seguridad del OIEA,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

---

<sup>1</sup> 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 útil 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 asistencia del OIEA.

Las normas de seguridad del OIEA también constituyen la base de los servicios de examen de la seguridad que éste 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.

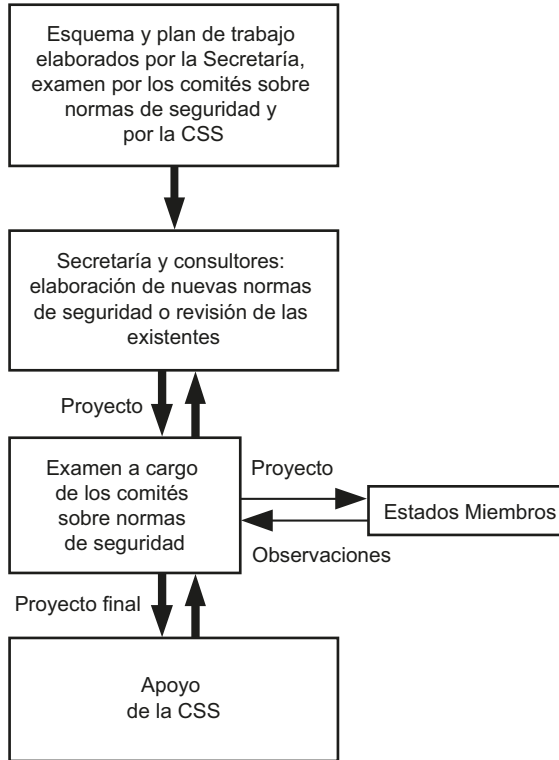
Las consideraciones científicas en las que descansan las normas de seguridad del OIEA proporcionan una base objetiva para la adopción de decisiones acerca de la seguridad; sin embargo, las instancias decisorias deben también formarse opiniones fundamentadas y determinar la mejor manera de equilibrar los beneficios de una medida o actividad con los riesgos asociados a las radiaciones 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 cuatro comités de normas de seguridad que se ocupan de 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.



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

## 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 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 se interpretarán como se definen en el Glosario de Seguridad Tecnológica del OIEA (véase la dirección <http://www-ns.iaea.org/downloads/standards/glossary/safety-glossary-spanish.pdf>). 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 (1.1–1.4) .....	1
	Objetivo (1.5–1.7) .....	2
	Alcance (1.8–1.11).....	2
	Estructura (1.12) .....	3
2.	CONCEPTO DEL PROGRAMA DE GESTIÓN DE ACCIDENTES .....	3
	Requisitos (2.1–2.3).....	3
	Concepto de la gestión de accidentes (2.4–2.11).....	5
	Principios básicos (2.12–2.18).....	7
	Mejoras del equipo (2.19–2.22).....	9
	Formas de orientaciones sobre la gestión de accidentes (2.23–2.30) .	10
	Funciones y responsabilidades (2.31–2.38).....	11
3.	ELABORACIÓN DE UN PROGRAMA DE GESTIÓN DE ACCIDENTES .....	13
	Observaciones generales: Régimen de prevención (3.1–3.2) .....	13
	Observaciones generales: Régimen de mitigación (3.3–3.13).....	14
	Definición de las vulnerabilidades de la central (3.14–3.16) .....	16
	Definición de la capacidad de la central (3.17–3.19) .....	17
	Elaboración de estrategias de gestión de accidentes (3.20–3.31) . . . .	18
	Elaboración de procedimientos y directrices (3.32–3.57).....	22
	Disposiciones para la gestión de accidentes en relación con el equipo informático (3.58–3.70) .....	29
	Función de la instrumentación y el control (3.71–3.77) .....	33
	Responsabilidades y vías de autorización (3.78–3.98) .....	35
	Verificación y validación (3.99–3.103).....	43
	Enseñanza y capacitación (3.104–3.110).....	44
	Procesamiento de nueva información (3.111–3.114).....	45
	Análisis de apoyo (3.115–3.129) .....	46
	Sistema de gestión (3.130).....	50

APÉNDICE: USO PRÁCTICO DE LAS DIRECTRICES RELATIVAS A LA GESTIÓN DE ACCIDENTES GRAVES .....	51
REFERENCIAS .....	55
ANEXO: EJEMPLO DE UN SISTEMA DE CATEGORIZACIÓN DE SECUENCIAS DE ACCIDENTES.....	59
COLABORADORES EN LA PREPARACIÓN Y REVISIÓN .....	67
ENTIDADES ENCARGADAS DE LA APROBACIÓN DE LAS NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA .....	69

# 1. INTRODUCCIÓN

## ANTECEDENTES

1.1. El examen de los accidentes que sobrepasan a los de base de diseño en las centrales nucleares es un elemento esencial del enfoque de defensa en profundidad utilizado para garantizar la seguridad nuclear [1 a 3]. Aunque es muy baja la probabilidad de que ocurra un accidente que sobrepase al de base de diseño, un accidente de ese tipo puede provocar consecuencias importantes como resultado del deterioro del combustible nuclear.

1.2. El accidente base de diseño se define como las condiciones de accidente en previsión de las cuales se diseña una instalación con arreglo a criterios de diseño establecidos y con respecto a las cuales el daño al combustible y la emisión de material radiactivo se mantienen dentro de límites autorizados. [4].

1.3. El accidente que sobrepasa al de base de diseño comprende condiciones de accidente más graves que las de un accidente base de diseño, y puede o no entrañar la degradación del núcleo. Las condiciones de accidente más graves que las del accidente base de diseño y que entrañan la degradación importante del núcleo se califican como accidentes muy graves [4].<sup>1</sup>

1.4. La gestión de accidentes consiste en la realización de una serie de acciones durante la evolución de un accidente que sobrepase al de base de diseño con el fin de:

- a) impedir que el suceso se convierta en un accidente muy grave;
- b) mitigar las consecuencias de un accidente muy grave;
- c) conseguir un estado seguro y estable a largo plazo [4].

El segundo aspecto de la gestión de accidentes (mitigar las consecuencias de un accidente muy grave) también se califica como gestión de accidentes muy graves. La gestión de accidentes resulta fundamental para asegurar la eficacia de la defensa en profundidad en el cuarto nivel [2].<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Véase el párr. 2.1.

<sup>2</sup> El objetivo del cuarto nivel de defensa en profundidad es garantizar que la probabilidad de un accidente que entrañe daños importantes al núcleo (un accidente muy grave) y la magnitud de una emisión de material radiactivo tras un accidente muy grave se mantengan en el valor más bajo que pueda razonablemente alcanzarse y reducir de ese modo el riesgo.

## OBJETIVO

1.5. En la presente guía de seguridad se formulan recomendaciones para cumplir los requisitos relativos a la gestión de accidentes, incluida la gestión de accidentes muy graves, que se establecen en la sección 5 de la Referencia [5], en las secciones 3 y 5 de la Referencia [6] y en la sección 4 de la Referencia [7].

1.6. En esta guía de seguridad se formulan recomendaciones para la elaboración y aplicación de un programa de gestión de accidentes.

1.7. La presente guía de seguridad está destinada fundamentalmente a las entidades explotadoras de las centrales nucleares, las compañías de electricidad y sus entidades de apoyo; también puede ser utilizada por los órganos reguladores para facilitar la preparación de los requisitos nacionales de reglamentación correspondientes.

## ALCANCE

1.8. La presente guía de seguridad contiene recomendaciones para la elaboración de un programa de gestión de accidentes destinado a impedir y mitigar las consecuencias de los accidentes que sobrepasan a los de base de diseño, incluidos los accidentes muy graves. Su interés se centra principalmente en el programa de gestión de accidentes muy graves.

1.9. Aunque las recomendaciones de esta guía de seguridad se han formulado fundamentalmente para utilizarlas en relación con los reactores de agua ligera, se consideran válidas para una amplia gama de reactores nucleares, tanto ya instalados como nuevos.

1.10. Las recomendaciones de esta guía de seguridad se han elaborado primordialmente para la gestión de accidentes que se produzcan cuando el reactor esté en régimen de potencia, pero también se prevé que sean válidos en otros modos de funcionamiento, incluso en régimen de parada.

1.11. Para obtener información más pormenorizada pueden consultarse otras guías de seguridad del OIEA [8 a 10]. Las Referencias [11 a 13] presentan elementos de programas de gestión de accidentes, incluyen ejemplos de cómo preparar, crear, aplicar y revisar los programas de gestión de accidentes y aportan documentos útiles de antecedentes.

## ESTRUCTURA

1.12. La presente guía de seguridad se divide en dos secciones principales. En la sección 2 se presenta el concepto global de un programa de gestión de accidentes y se explican aspectos de examen de alto nivel, mientras que en la sección 3 se aborda el proceso de elaboración y aplicación de un programa de gestión de accidentes. En el apéndice se formulan recomendaciones sobre el uso de las directrices relativas a la gestión de accidentes muy graves. En el anexo se expone un ejemplo de un sistema de categorización de secuencias de accidentes.

## **2. CONCEPTO DEL PROGRAMA DE GESTIÓN DE ACCIDENTES**

### REQUISITOS

2.1. En la Referencia [5] se establecen los requisitos siguientes en relación con la gestión de accidentes muy graves y la gestión de accidentes en el diseño de las centrales nucleares:

“Determinados estados de la central, de probabilidad muy baja, que excedan de las condiciones de accidente base de diseño y que puedan ocurrir por múltiples fallos de los sistemas de seguridad que originen un importante deterioro del núcleo, pueden poner en peligro la integridad de todas las barreras que impiden la liberación del material radiactivo, o gran parte de ellas. Estas secuencias de sucesos se denominan accidentes [muy] graves. Deberá prestarse atención a estas secuencias de accidentes [muy] graves, utilizando una combinación de criterios tecnológicos y métodos probabilistas, con el fin de determinar las secuencias para las que pueden determinarse medidas preventivas o de atenuación, razonablemente aplicables. Dichas medidas no han de suponer necesariamente la aplicación de prácticas prudentes de ingeniería, utilizadas en la determinación y evaluación de accidentes base de diseño, sino que más bien deberían basarse en escenarios realistas o aproximativos, o en métodos y criterios analíticos. Sobre la base de la experiencia operacional, de los análisis de seguridad pertinentes y de los resultados de la investigación relacionada

con la seguridad, en las actividades de diseño para abordar los casos de accidente [muy] grave se tendrá en cuenta lo siguiente:

- 1) deberán definirse secuencias importantes de sucesos que puedan provocar un accidente [muy] grave, utilizando una combinación de métodos probabilistas, métodos deterministas y criterios de ingeniería razonables;
- 2) dichas secuencias de sucesos se revisarán en función de una serie de criterios encaminados a determinar qué accidentes [muy] graves habrá que tener en cuenta en el diseño;
- 3) se evaluarán y aplicarán, si es posible, las posibles modificaciones del diseño o los cambios de procedimiento que puedan reducir la probabilidad de esos sucesos o atenuar sus consecuencias en caso de que ocurran;
- 4) deberá prestarse atención a todos los elementos de diseño de la central, incluido el posible uso de algunos sistemas (por ejemplo, sistemas de seguridad y sistemas no relacionados con la seguridad) que vayan más allá de la función a que se destinen originalmente y de los estados operacionales previstos, así como el uso de otros sistemas provisionales para restablecer un estado controlado de la central y atenuar las consecuencias de un accidente [muy] grave, si puede demostrarse que los sistemas son capaces de funcionar en las condiciones ambientales que cabe prever;
- 5) para centrales con varias unidades, se tendrá en cuenta el uso de los medios de que se disponga, o el apoyo de otras unidades, siempre que no se vea comprometido el funcionamiento seguro de dichas unidades;
- 6) deberán establecerse procedimientos de gestión de accidentes, teniendo en cuenta los casos de accidentes [muy] graves representativos y dominantes.” (Referencia [5], párrafo 5.31).

2.2. En la Referencia [6] se establecen los requisitos siguientes para la gestión de accidentes muy graves y la gestión de accidentes en la explotación de las centrales nucleares:

“El personal de la central recibirá instrucciones para la gestión de accidentes que excedan de la base de diseño. La capacitación del personal de explotación les permitirá familiarizarse con los síntomas de accidentes que exceden de la base de diseño y los procedimientos de gestión de accidentes.” (Referencia [6], párrafo 3.12).

“Se elaborarán procedimientos operacionales de emergencia u orientaciones acerca de la gestión de accidentes [muy] graves (que excedan de la base de diseño).” (Referencia [6], párrafo 5.12).

2.3. El requisito 13 de la Referencia [7] sobre la evaluación de la defensa en profundidad reza como sigue:

“Es preciso determinar en la evaluación de la defensa en profundidad si se han adoptado disposiciones adecuadas en cada uno de los niveles de esa defensa para garantizar que la persona jurídica responsable de la instalación pueda:

- a) abordar las desviaciones del funcionamiento normal o, en el caso de un repositorio, de su evolución prevista a largo plazo;
- b) detectar las desviaciones del funcionamiento normal relacionadas con la seguridad, o de su evolución prevista a largo plazo, en caso de que se produzcan, y ponerles fin;
- c) controlar accidentes dentro de los límites establecidos para el diseño;
- d) especificar medidas para mitigar las consecuencias de los accidentes que sobrepasen los límites del diseño;
- e) mitigar los riesgos radiológicos que guarden relación con posibles emisiones de material radiactivo”. (Referencia [7], párrafo 4.45).

## CONCEPTO DE LA GESTIÓN DE ACCIDENTES

2.4. Se recomienda elaborar un programa de gestión de accidentes para todas las centrales, independientemente de la frecuencia total de daño al núcleo y la frecuencia de emisión de productos de fisión calculadas para la central.

2.5. Es aconsejable aplicar un enfoque estructurado descendente al elaborar las orientaciones sobre la gestión de accidentes. Ese enfoque debería comenzar con los objetivos y estrategias y desembocar en los procedimientos y directrices y abarcar tanto los aspectos de la prevención como de la mitigación. La figura 1 ilustra el enfoque descendente respecto de la gestión de accidentes.

2.6. En el nivel superior, los objetivos de la gestión de accidentes se definen de la manera siguiente:

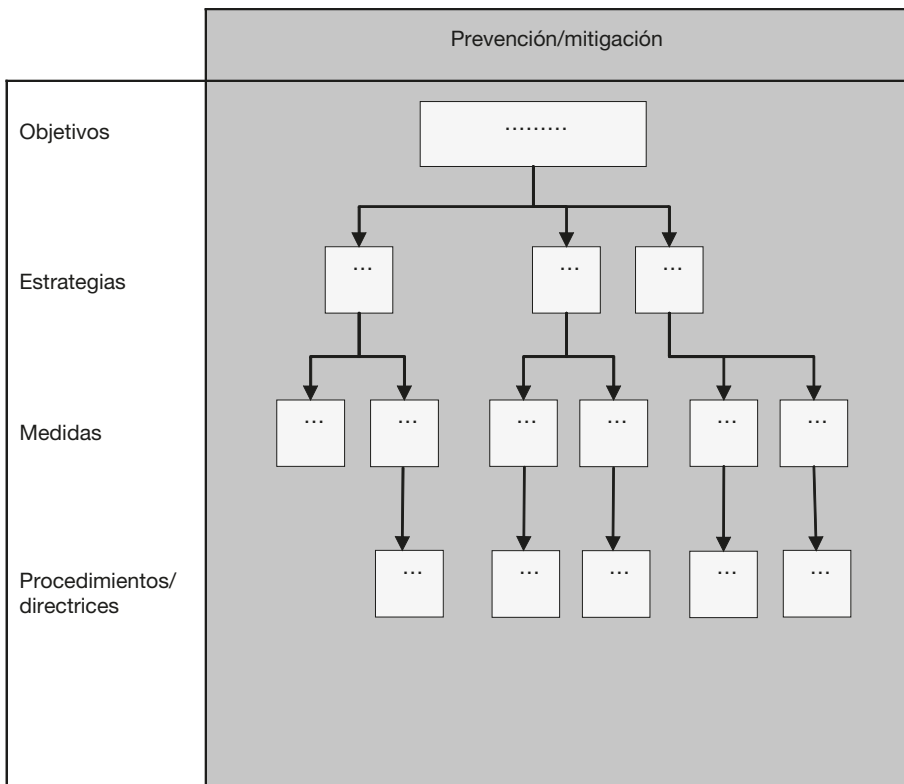
- prevención de daños importantes al núcleo;
- cese del avance del daño al núcleo una vez que ha comenzado;

- mantenimiento de la integridad de la contención el mayor tiempo posible;
- minimización de las emisiones de material radiactivo;
- logro de un estado estable a largo plazo.

Para alcanzar estos objetivos, deberían elaborarse varias estrategias.

2.7. De las estrategias deberían derivarse medidas adecuadas y eficaces para la gestión de accidentes, que comprendan las modificaciones de la central, cuando estas se estimen importantes para gestionar los accidentes que sobrepasen a los de base de diseño y los accidentes muy graves y las acciones del personal, e incluyan también la reparación del equipo averiado.

2.8. Conviene elaborar orientaciones apropiadas en forma de procedimientos y directrices para el personal encargado de ejecutar las medidas destinadas a la gestión de accidentes.



*Fig. 1 Enfoque descendente respecto de la gestión de accidentes*



2.9. Al elaborar las orientaciones sobre la gestión de accidentes debería tomarse en consideración la capacidad total de diseño de la central, utilizando tanto los sistemas de seguridad como los no relacionados con la seguridad, e incluso el posible empleo de algunos sistemas más allá de la función a la que estaban destinados inicialmente y de las condiciones operacionales previstas y posiblemente fuera de su base de diseño.

2.10. Es aconsejable especificar el momento en que la responsabilidad y autoridad habrán de pasar del ámbito de la prevención al de la mitigación. La determinación de ese momento debería basarse en criterios debidamente definidos y documentados.

2.11. En caso de efectuarse un cambio de la configuración de la central o de obtenerse nuevos resultados de investigaciones sobre fenómenos físicos, deberían verificarse las consecuencias para las orientaciones sobre la gestión de accidentes y, de ser necesario, sería conveniente someter a revisión esas orientaciones.

## PRINCIPIOS BÁSICOS

2.12. En vista de las incertidumbres que entrañan los accidentes muy graves, es conveniente elaborar las orientaciones sobre la gestión de ese tipo de accidentes en relación con todos los mecanismos en riesgo físicamente indetectables para los cuales sean viables esas orientaciones. Las orientaciones sobre la gestión de accidentes muy graves deberían elaborarse independientemente de la frecuencia con que se prevé que surjan los problemas.

2.13. Se recomienda establecer las orientaciones sobre la gestión de accidentes de tal modo que no sea necesario que el personal responsable determine la secuencia del accidente o siga de cerca algún accidente analizado con anterioridad para poder ejecutarlas correctamente.

2.14. El enfoque de la gestión de accidentes debería basarse en parámetros directamente cuantificables de la central o en parámetros derivados de estos mediante cálculos sencillos<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> Este método suele denominarse “enfoque basado en los síntomas”. Los cálculos sencillos suelen denominarse “ayudas computacionales”.

2.15. La elaboración de las orientaciones sobre la gestión de accidentes debería fundamentarse en análisis de mejor estimación con objeto de captar la respuesta física correcta de la central. En las orientaciones sobre la gestión de accidentes conviene tomar en consideración las incertidumbres en cuanto al momento y la magnitud de los fenómenos que pudieran ocurrir durante el accidente. Por tanto, las medidas mitigadoras deberían iniciarse a nivel de parámetros y en el momento en que se tenga suficiente confianza de que se conseguirá la protección prevista al aplicar la medida. Por ejemplo, el venteo de la contención, si resulta necesario para proteger la integridad estructural de esta barrera de productos de fisión, debería iniciarse en un momento y a un nivel de presión de contención que garantice que no se pierda la integridad estructural de la contención.

2.16. También pueden producirse accidentes muy graves cuando la central se encuentra en régimen de parada. En las orientaciones sobre la gestión de accidentes muy graves conviene tener en cuenta los problemas concretos que plantean las configuraciones de parada y el mantenimiento en mayor escala de las centrales, como el relacionado con una escotilla abierta del equipo de contención. El daño potencial al combustible gastado tanto en la vasija del reactor como en la piscina de combustible gastado o en el lugar de almacenamiento<sup>4</sup> debería considerarse también en las orientaciones sobre la gestión de accidentes. Dado que el mantenimiento en gran escala suele realizarse durante los estados de parada previstos, la primera preocupación de las orientaciones sobre la gestión de accidentes debería ser la seguridad del personal<sup>5</sup>.

2.17. La gestión de accidentes muy graves debería abarcar todos los modos de explotación de la central y también sucesos externos debidamente seleccionados, como incendios, inundaciones, sucesos sísmicos y condiciones meteorológicas extremas (por ejemplo, vientos fuertes, temperaturas sumamente altas o bajas, sequías) que pudieran dañar grandes secciones de la central. En las orientaciones sobre la gestión de accidentes muy graves deberían considerarse los problemas concretos que plantean los sucesos externos, como la pérdida de suministro eléctrico, la pérdida de la sala de control o la sala de conmutación y la reducción del acceso a los sistemas y componentes<sup>6</sup>.

---

<sup>4</sup> Resulta prudente también considerar otras posibles fuentes grandes de radiación, aunque ello no forma parte explícitamente de la gestión de accidentes muy graves.

<sup>5</sup> La orden de “detener el trabajo” podría ser una de las primeras que debería incluirse en este tipo de orientaciones sobre la gestión de accidentes.

<sup>6</sup> Esa accesibilidad limitada podría deberse a incendios, inundaciones o daños a amplias zonas causados, por ejemplo, por el derrumbe de estructuras no sismorresistentes en un suceso sísmico.

2.18. Los sucesos externos pueden influir también en la disponibilidad de recursos para la gestión de accidentes muy graves (p. ej., las sequías muy graves pueden limitar las fuentes de agua natural de refrigeración disponible, como ríos y lagos, que constituyen una reserva normal de recursos; los sucesos sísmicos pueden dañar las presas). Esas posibles influencias deberían tenerse en cuenta en la elaboración de las orientaciones sobre la gestión de accidentes.

## MEJORAS DEL EQUIPO

2.19. Deberían evaluarse los elementos de diseño importantes para la prevención o mitigación de los accidentes muy graves. En consecuencia, conviene mejorar el equipo o la instrumentación existentes o añadir nuevo equipo o instrumentación, si resulta necesario o se considera útil<sup>7</sup> para la elaboración de un programa significativo de gestión de accidentes muy graves, es decir, un programa de gestión de accidentes muy graves que reduzca los riesgos de manera apreciable o a un nivel aceptable. La decisión de añadir o mejorar el equipo puede depender de cuestiones asociadas a costos y beneficios.

2.20. Si se adopta la decisión de añadir o mejorar equipo o instrumentación, la especificación del diseño de ese equipo o instrumentación debería asegurar la independencia apropiada de los sistemas existentes y márgenes preferiblemente apropiados con respecto al uso del equipo o instrumentación en condiciones de accidente o de accidente muy grave. Esos márgenes deberían proporcionar confianza o, siempre que sea posible, permitir que se demuestre que el nuevo equipo o instrumentación funcionará correctamente en las condiciones previstas. Cuando sea factible, esas condiciones deberían seleccionarse como las condiciones de diseño del equipo objeto de examen. En tal caso, deberían seleccionarse criterios de aceptación adecuados que sean proporcionales a la función de seguridad del equipo y el nivel de conocimiento de los procesos de accidentes muy graves.

2.21. Cuando se mejore el equipo o instrumentación existente o se adopte otra disposición para utilizarlo fuera de su margen normal base de diseño, las orientaciones sobre la gestión de accidentes muy graves para el uso de ese equipo deberían actualizarse en consecuencia. Preferiblemente deberían elaborarse

---

<sup>7</sup> Tal vez no se necesite equipo, en el sentido estricto de la palabra, aunque pueden ser muy útiles, por ejemplo, los recombinadores autocatalíticos pasivos que eliminan las incertidumbres acerca de las quemaduras de hidrógeno.

procedimientos de explotación específicos para el equipo o instrumentación con respecto a accidentes muy graves.

2.22. La instalación de nuevo equipo o la mejora del equipo existente no debería eliminar la necesidad de elaborar orientaciones sobre casos de mal funcionamiento del equipo, aun cuando haya poca probabilidad de que estos ocurran.

## FORMAS DE ORIENTACIONES SOBRE LA GESTIÓN DE ACCIDENTES

### *Ámbito de la prevención*

2.23. En el ámbito de la prevención las orientaciones deberían consistir en medidas descriptivas, ya que la situación de la central se podrá conocer de la instrumentación disponible y las consecuencias de las acciones se podrán determinar con anterioridad mediante un análisis apropiado. Por tanto, las orientaciones en el ámbito de la prevención adoptan la forma de procedimientos, denominados habitualmente procedimientos de explotación para casos de emergencia (EOP), y son de carácter prescriptivo. Los EOP abarcan tanto los accidentes base de diseño como los accidentes que sobrepasan a los de base de diseño, pero en general se limitan a las acciones realizadas antes de producirse el daño al núcleo. En las Referencias [10, 11] pueden consultarse otros detalles sobre los EOP.

### *Ámbito de la mitigación*

2.24. En el ámbito de la mitigación pueden existir incertidumbres en lo que respecta tanto a la situación de la central como al resultado de las medidas adoptadas. Por consiguiente, las orientaciones relativas a la mitigación no deberían ser de índole prescriptiva, sino que más bien deberían proponer una serie de posibles medidas mitigadoras y favorecer una evaluación complementaria y acciones alternativas. Tales orientaciones se denominan generalmente directrices para la gestión de accidentes muy graves (SAMG).

2.25. Las orientaciones deberían contener una descripción de las posibles consecuencias positivas y negativas de las medidas propuestas, incluso datos cuantitativos cuando se disponga de ellos y sean pertinentes, y contener también suficiente información para que el personal de la central adopte una decisión adecuada sobre las acciones que se habrán de realizar durante la evolución del accidente.

2.26. Es aconsejable que las orientaciones con respecto a la mitigación se presenten en forma de directrices, manuales o guías. El término “directriz” se emplea en este caso para referirse a un conjunto de instrucciones bastante detallado que resume las tareas que se han de ejecutar en la central, pero que todavía son menos estrictas y prescriptivas que los procedimientos mencionados en los EOP; es decir, los que se utilizan en el ámbito de la prevención. Los manuales o guías contendrán una descripción más general de las tareas que se habrán de ejecutar y su razonamiento de fondo.

2.27. Las orientaciones deberían ser suficientemente detalladas para que sirvan de apoyo a los miembros responsables del personal en las deliberaciones y en la adopción de decisiones en un entorno de gran tensión, y deberían reducir al mínimo las oportunidades de que la información de interés se suprima o pase por alto.

2.28. Las orientaciones no deberían establecerse en tal forma y con tal detalle que el personal responsable propenda a cumplirlas al pie de la letra, a menos que ese sea el tipo de acción previsto.

2.29. La forma general y la cantidad de detalle de las orientaciones que se hayan seleccionado deberían comprobarse en prácticas y ejercicios. Basándose en los resultados de esas prácticas conviene considerar si resulta apropiada la forma y si en las orientaciones deberían incluirse más o menos detalles.

#### *Ámbitos de la prevención y la mitigación en su conjunto*

2.30. Las orientaciones en materia de prevención y mitigación en su conjunto deberían basarse en documentación de antecedentes apropiada. En esa documentación debería describirse y explicarse la fundamentación de las diversas partes de las orientaciones, y darse una explicación de cada medida incluida en ellas, si se considera necesario. La documentación de antecedentes no sustituye las propias orientaciones.

## FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES

2.31. Las orientaciones sobre la gestión de accidentes deberían formar parte integrante de las disposiciones generales de emergencia de una central nuclear [14]. La ejecución de las orientaciones sobre la gestión de accidentes muy graves es responsabilidad de la entidad de respuesta a emergencias de la central o la compañía eléctrica. Es aconsejable que las funciones y responsabilidades

de los diversos miembros de la entidad de respuesta a emergencias que participen en la gestión del accidente se definan claramente y que se garantice la coordinación entre ellos.

2.32. Cuando los miembros de la entidad de respuesta a emergencias no se encuentren en el mismo lugar, debería utilizarse una red de comunicación sumamente fiable entre los distintos lugares. Conviene considerar la repercusión de sucesos externos, como condiciones meteorológicas extremas, sucesos sísmicos o sucesos que causan trastornos a la sociedad<sup>8</sup>, al ubicar a la autoridad encargada de adoptar decisiones para la gestión de accidentes muy graves en un lugar fuera del emplazamiento. Deberían establecerse disposiciones para la adopción de medidas si la comunicación fuera del emplazamiento falla y solo la parte de la entidad de respuesta a emergencias se mantiene funcionando en el emplazamiento de la central.

2.33. La asignación de responsabilidades debería ser compatible con el tipo de material de orientación suministrado<sup>9</sup> y estar en consonancia con las demás funciones mencionadas en los documentos elaborados por la entidad de respuesta a emergencias.

2.34. Las funciones asignadas a los miembros de la entidad de respuesta a emergencias pueden ser diferentes en los ámbitos de la prevención y la mitigación y cuando este sea el caso, debería definirse claramente el momento en que la responsabilidad y la autoridad pasan de uno a otro ámbito.

2.35. Es aconsejable contar con un grupo o un conglomerado de grupos especializado (denominado en adelante centro de apoyo técnico) para que preste apoyo técnico mediante la ejecución de evaluaciones y la recomendación de medidas de recuperación a una autoridad encargada de adoptar decisiones tanto en materia de prevención como de mitigación. El centro de apoyo técnico también debería proporcionar información apropiada a las personas encargadas de calcular las posibles consecuencias radiológicas. En caso de que haya varios grupos, debería especificarse la función de cada uno de ellos.

2.36. Las decisiones deberían adoptarse en un nivel apropiado en proporción a la complejidad de la tarea y a las posibilidades de emisiones en el emplazamiento

---

<sup>8</sup> Un ejemplo de sucesos que podrían causar trastornos a la sociedad serían las huelgas generales.

<sup>9</sup> Si se ha decidido separar la adopción de decisiones de la evaluación, por ejemplo, debería disponerse de orientaciones sobre ambas funciones.

y fuera de él. En el ámbito de la prevención, el supervisor de turno de la sala de control o un ingeniero de seguridad especializado u otro funcionario designado podría desempeñar en gran medida esa responsabilidad;<sup>10</sup> en el ámbito de la mitigación, las decisiones deberían adoptarse por una persona de un nivel más alto.

2.37. El departamento de operaciones debería encargarse de aplicar las medidas de gestión de accidentes que se decida adoptar.

2.38. Debería impartirse capacitación a niveles apropiados a los miembros de la entidad de respuesta a emergencias; la capacitación debería guardar proporción con sus responsabilidades en los ámbitos de la prevención y la mitigación.

### **3. ELABORACIÓN DE UN PROGRAMA DE GESTIÓN DE ACCIDENTES**

#### **OBSERVACIONES GENERALES: RÉGIMEN DE PREVENCIÓN**

3.1. Las orientaciones sobre la gestión de accidentes en materia de prevención deberían abarcar el amplio espectro de sucesos previsibles relacionados con accidentes que sobrepasan a los de base de diseño, es decir, todos los sucesos que se consideran previsibles en función de posibles sucesos iniciadores y las posibles complicaciones durante la evolución del suceso que pudieran causar otros fallos del equipo informático, errores humanos o sucesos del exterior.

3.2. Para determinar toda la gama de sucesos puede obtenerse orientación útil del análisis probabilista de la seguridad (APS) de nivel 1 (si existe), o de estudios análogos de otras centrales, así como de la experiencia operacional de la central y otras centrales. La selección de sucesos debería ser suficientemente amplia a fin de que sirva de base orientativa para el personal de la central en cualquier situación determinada, aun cuando la evolución del accidente constituya una vía muy improbable dentro del APS o no se considere de ningún modo en él.

---

<sup>10</sup> Algunas decisiones pueden recaer en un nivel superior de autoridad; por ejemplo, cuando determinadas acciones que resulten beneficiosas para la gestión de accidentes puedan causar el deterioro de componentes (véase también el cuadro 1).

## OBSERVACIONES GENERALES: RÉGIMEN DE MITIGACIÓN

3.3. Las orientaciones sobre la gestión de accidentes deberían abocarse a todo el espectro de problemas verosímiles que pueden presentarse para las barreras de productos de fisión a causa de accidentes muy graves, entre ellos los derivados de fallos múltiples del equipo informático, los errores humanos o los sucesos del exterior, y de posibles fenómenos físicos que pueden ocurrir durante la evolución de un accidente muy grave (como explosiones de vapor, calentamiento directo de la contención y quemaduras de hidrógeno). En este proceso también conviene tener en cuenta cuestiones que no suelen considerarse en los análisis, como otros fallos muy improbables y el funcionamiento anormal del equipo.

3.4. Para determinar el espectro completo de mecanismos en riesgo se puede obtener una orientación útil en el análisis probabilista de la seguridad (APS) de nivel 2 (si existe), o en estudios similares de otras centrales y en los resultados de investigaciones sobre accidentes muy graves. Con todo, deberían definirse con suficiente amplitud los posibles mecanismos en riesgo a fin de proporcionar una base de orientación al personal de la central en cualquier situación determinada, aun cuando la evolución del accidente constituya una vía muy improbable dentro del APS o no se considere de ningún modo en él.

3.5. En vista de las incertidumbres inherentes que entraña la determinación de sucesos previsibles, en la elaboración de las orientaciones sobre la gestión de accidentes muy graves no debería utilizarse a priori el APS para excluir escenarios de accidentes<sup>11</sup>.

3.6. Después que se hayan ultimado las orientaciones sobre la gestión de accidentes, es aconsejable verificar si en realidad se abarcan todas las secuencias de accidente importantes, en particular las obtenidas del APS, y si se reducen los riesgos en consecuencia.

3.7. Al establecer un programa de gestión de accidentes conviene ejecutar cuatro medidas principales:

- 1) deberían definirse las vulnerabilidades de la central para hallar los mecanismos mediante los cuales podrá hacerse frente a las funciones críticas de seguridad. Si esos problemas no se mitigan, podrá dañarse

---

<sup>11</sup> Si se considera ese uso, deberían especificarse niveles límite muy bajos para no subestimar el alcance y la índole de los escenarios que se habrán de analizar.



el núcleo y la integridad de las barreras de productos de fisión podrá verse en peligro;

- 2) deberían indicarse los mecanismos de la central que presenten problemas en relación con las funciones críticas de seguridad y las barreras de productos de fisión, incluso los mecanismos para mitigar esos problemas desde el punto de vista del equipo y el personal;
- 3) deberían establecerse estrategias y medidas de gestión de accidentes adecuadas, incluso elementos de equipo informático, para hacer frente a las vulnerabilidades definidas;
- 4) deberían elaborarse procedimientos y directrices para ejecutar las estrategias.

3.8. Entre otros elementos importantes que conviene tener en cuenta en la elaboración de un programa de gestión de accidentes se incluyen los siguientes:

- 1) disposiciones relativas al equipo informático (equipo, instrumentación) para la gestión de accidentes;
- 2) medios de obtener información sobre la situación de la central y la función de la instrumentación de que se dispone;
- 3) especificación de los procedimientos de adopción de decisiones, responsabilidad y autoridad de los grupos encargados de aplicar las medidas de gestión de accidentes;
- 4) integración del programa de gestión de accidentes en las disposiciones de emergencia para la central;
- 5) verificación y validación de procedimientos y directrices;
- 6) enseñanza y capacitación, prácticas y ejercicios;
- 7) análisis complementario para la elaboración del programa de gestión de accidentes;
- 8) un sistema de gestión para todas las tareas en el programa de gestión de accidentes;
- 9) un enfoque sistemático para incorporar la nueva información y los nuevos conocimientos sobre los fenómenos de accidentes muy graves.

3.9. Los programas de gestión de accidentes pueden elaborarse inicialmente con carácter genérico por el proveedor de una central u otra entidad, y utilizarse seguidamente por una compañía eléctrica que explote una central para un programa de gestión de accidentes concreto de la central. Cuando se siga ese proceso, debería velarse por que la transición de un programa genérico de gestión de accidentes a un programa concreto de gestión de accidentes de la central se gestione de manera apropiada. Ello comprende la búsqueda de nuevas vulnerabilidades y de estrategias para mitigarlas.

3.10. Para que la elaboración de un programa de gestión de accidentes resulte satisfactoria, es aconsejable formar un “grupo central de desarrollo” integrado por expertos con suficiente alcance y nivel de conocimientos especializados.

3.11. El grupo central de desarrollo debería comprender, además de expertos externos (si se selecciona un proveedor externo con objeto de obtener orientaciones sobre la gestión de accidentes), personal encargado de la elaboración y aplicación del programa de gestión de accidentes en la central, incluido el personal proveniente del departamento de capacitación (para la capacitación de operadores y personal de ingeniería) y los departamentos de operaciones, mantenimiento e ingeniería.

3.12. El personal que trabajará en la sala de control o en el centro de apoyo técnico u otra dependencia orgánica encargada de la evaluación y la adopción de decisiones en el curso de un accidente debería participar desde el principio en la elaboración del programa de gestión de accidentes, ya que ello sirve de capacitación muy valiosa para las tareas y el intercambio de información en el futuro. En la Referencia [12] se presentan ejemplos de la composición de un grupo central de desarrollo.

3.13. La elaboración de un programa de gestión de accidentes es una tarea compleja, que requiere una estrecha cooperación y un trabajo colectivo organizado entre los expertos participantes. De ahí que deba tomarse en consideración la forma en que se pondrá a disposición el personal de la central para participar en las actividades de elaboración del programa de gestión de accidentes en relación con sus funciones normales. Debería asignarse tiempo suficiente al personal de la central integrado en el grupo central de desarrollo en relación con sus demás obligaciones.

## DEFINICIÓN DE LAS VULNERABILIDADES DE LA CENTRAL

3.14. Conviene definir las vulnerabilidades de la central en el caso de accidentes que sobrepasen a los de base de diseño. Debería investigarse cómo determinados accidentes pondrán en peligro las funciones críticas de seguridad y también, si se pierden esas funciones de seguridad y no se recobran oportunamente, cómo se dañará el núcleo y cómo se pondrá en riesgo la integridad de otras barreras de productos de fisión.

3.15. Es aconsejable obtener un amplio conjunto de información sobre el comportamiento de la central durante un accidente que sobrepase al de base de diseño y un accidente muy grave; en esa información deberían indicarse los

fenómenos que podrían ocurrir y su fecha y gravedad previstas. Esa información debería recabarse y establecerse en la base técnica<sup>12</sup> para la gestión de los accidentes muy graves.

3.16. La información debería obtenerse utilizando instrumentos de análisis apropiados. También conviene utilizar otros datos, como los resultados de las investigaciones sobre accidentes muy graves, la información procedente de otras centrales y los dictámenes de ingeniería. En la elaboración de la información debería prestarse atención a las incertidumbres de los modelos de accidentes muy graves y de los supuestos establecidos.

## DEFINICIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA CENTRAL

3.17. Conviene investigar toda la capacidad de que dispone la central para cumplir las funciones de seguridad, incluso el uso de sistemas no especializados, gamas no convencionales y conexiones provisionales (mangueras, equipo móvil o portátil) y el empleo de sistemas que sobrepasen a su base de diseño, e incluso hasta la posibilidad de daños al equipo<sup>13</sup>. Conviene también analizar si los sistemas averiados podrán volver a ponerse en servicio y, por tanto, si pueden contribuir nuevamente a la mitigación del suceso. Cuando se determinen las gamas no convencionales y conexiones provisionales, debería prestarse atención a la adaptación del equipo necesario para utilizar esa capacidad.

3.18. Las medidas de gestión de accidentes muy graves deben ser robustas, es decir, deberían definirse de modo tal que garanticen suficiente margen de seguridad contra un fallo estructural de los componentes correspondientes cuando dicho fallo pueda prevenirse (p.ej., la inundación de un generador de vapor debería realizarse de manera oportuna y a tal nivel que exista un amplio margen de seguridad contra la rotura por fluencia de un tubo de generador de vapor<sup>14</sup> y el venteo de la contención debería efectuarse a un nivel de presión del sistema de contención de forma que todavía quede un amplio margen para fallos del sistema). Cuando no se pueda prevenir el fallo a través de las medidas

---

<sup>12</sup> En la referencia [15] figura un ejemplo de una base técnica genérica que se utiliza ampliamente en los Estados Miembros.

<sup>13</sup> Un ejemplo es el reinicio de una bomba de refrigerante de reactor bajo poca presión, que puede mejorar la refrigeración del núcleo pero también dañar la bomba.

<sup>14</sup> La inundación del generador de vapor protegerá efectivamente los tubos del generador contra la rotura por fluencia; no obstante, esa acción debería iniciarse muy por debajo del valor umbral sobre el cual pueda ocurrir esa rotura por fluencia.

previstas, se debería intentar retrasarlo. Conviene ser consciente de que, aunque en la base de diseño de la central nuclear se hayan previsto medidas de gestión de accidentes muy graves y se hayan tenido en cuenta ese tipo de accidentes, quizás no sea posible controlar y mitigar plenamente estos sucesos.

3.19. También conviene investigar la capacidad del personal de la central para contribuir a medidas no convencionales que mitiguen las vulnerabilidades de la central, incluido el comportamiento y fiabilidad del personal en condiciones ambientales desfavorables. Cuando proceda, deberían adoptarse medidas de protección y especificarse la capacitación necesaria para la ejecución de tareas de esa índole. Cabe señalar que los trabajos que plantean riesgos para la salud, o incluso para la vida del personal de la central, siempre son de carácter voluntario y nunca pueden imponerse a la persona; las orientaciones deberían elaborarse teniendo esto en cuenta.

## ELABORACIÓN DE ESTRATEGIAS DE GESTIÓN DE ACCIDENTES

3.20. Sobre la base de la evaluación de las vulnerabilidades y el conocimiento de los fenómenos de los accidentes, así como de la capacidad de la central para hacer frente a los accidentes, conviene elaborar estrategias para la gestión de accidentes con respecto a cada problema por separado o a la vulnerabilidad de la central, tanto desde el punto de vista de la prevención como de la mitigación.

3.21. En el ámbito de la prevención deberían elaborarse estrategias destinadas a preservar las funciones de seguridad importantes para impedir el daño al núcleo (denominadas a menudo “funciones críticas de seguridad”), como lograr y mantener la subcriticidad del núcleo, la refrigeración del núcleo, el inventario principal y la integridad de la contención. Ejemplo de una estrategia preventiva es la de “aporte y purga”.

3.22. Con respecto a la mitigación, es aconsejable elaborar estrategias para posibilitar lo siguiente:

- cese del avance del daño al núcleo una vez que ha comenzado;
- mantenimiento de la integridad de la contención el mayor tiempo posible;
- minimización de las emisiones de material radiactivo;
- logro de un estado estable a largo plazo.

Pueden deducirse estrategias de la “reserva de medidas de alto nivel”, de las cuales se incluyen ejemplos en el apéndice II de la Referencia [12]. Ejemplos

de estrategias de mitigación son: el llenado del circuito secundario del generador de vapor para impedir la rotura por fluencia de los tubos del generador; la descompresión del circuito del reactor para impedir el fallo de la vasija del reactor a alta presión y el calentamiento directo de la contención; la inundación de la cavidad del reactor para impedir o demorar el fallo de la vasija y el fallo posterior de la placa base; la mitigación de la concentración de hidrógeno; y la descompresión de la contención para impedir su avería por presión excesiva o el fallo de la placa base bajo una presión de contención elevada.

3.23. La aplicación de una estrategia de mitigación concreta debería depender de un solo parámetro o de un grupo de parámetros que indiquen cierto estado de daño de la central. Los estados de daño de la central indican distintas fases de creciente gravedad durante la evolución del accidente. Se refieren a una definición del estado del núcleo y la contención con respecto a los problemas existentes en las barreras de productos de fisión de la central. Son ejemplos, con respecto al núcleo: la refrigeración y el recubrimiento del núcleo dentro de la vasija, el sobrecalentamiento y gran deterioro del núcleo dentro de la vasija, la refrigeración y el recubrimiento del núcleo fuera de la vasija, y el sobrecalentamiento del núcleo fuera de la vasija; y, con respecto a la contención: el control del estado estable, el control del estado no estable (se requieren nuevas estrategias aunque la emisión de productos de fisión no sea inminente), el estado de riesgo de la central (se requieren de inmediato nuevas estrategias) y las emisiones constantes<sup>15</sup>.

3.24. Conviene elaborar un método para la evaluación sistemática de las posibles estrategias que puedan aplicarse, tomando en consideración la evolución del accidente. Deberían considerarse las condiciones desfavorables que puedan entorpecer la ejecución de la estrategia para esa fase del accidente. Cabe señalar que al seleccionar las estrategias y asignarles prioridades la evaluación resulta muy importante debido a las posibilidades de que las acciones causen varios efectos negativos y aumenten el grado de incertidumbre en torno a la situación de la central y su respuesta a las medidas.

3.25. Es aconsejable prestar especial atención a las estrategias que tienen efectos positivos y negativos a fin de establecer la base para adoptar una decisión acerca de las estrategias que resultan adecuadas para dar respuesta a una condición determinada de daño a la central. Un ejemplo consiste en retener el agua de la

---

<sup>15</sup> En el apéndice I de la referencia [12] y en las referencias [15, 20, 26, 27] se citan otros ejemplos. En la referencia [26] se incluye un ejemplo de un enfoque de “parámetro único”. Ese enfoque y el basado en los estados de daño de la central se describen en la referencia [27].

cavidad del reactor para prolongar el tiempo previo al fallo por sobrepresión de la contención, lo que tiene el efecto negativo de originar posibles interacciones entre el núcleo y el hormigón que pueden ser irreversibles. Otro ejemplo es inundar la cavidad, con el efecto negativo de una posible explosión del vapor fuera de la vasija.

3.26. Siempre que sea posible debería obtenerse información de los estados de daño de la central<sup>16</sup> durante la evolución del accidente. Esa información resulta útil, ya que puede ayudar a seleccionar las estrategias porque si bien algunas de ellas pueden ser eficaces en un estado de daño de la central, en otro pueden ser ineficaces o incluso contraproducentes<sup>17</sup>. Además, esa información es importante para calcular el término fuente y, si se dispone de ella, debería utilizarse para este fin.

3.27. Deberían establecerse prioridades entre las estrategias porque las posibles estrategias pueden tener distinto peso o efecto en la seguridad y porque no todas pueden aplicarse al mismo tiempo. En la prevención, la prioridad de las estrategias debería guardar relación con la prioridad establecida para las funciones críticas de seguridad. En la mitigación, la prioridad debería otorgarse a las medidas que mitiguen grandes emisiones constantes o riesgos para barreras importantes de productos de fisión (por “grandes” se entienden las emisiones con niveles de radiactividad superiores a niveles generales de emergencia como los definidos en el plan de emergencia de la central). En la documentación de antecedentes debería indicarse la base para la selección de las prioridades. Un ejemplo es un conjunto de prioridades deducido de la evolución de muchos accidentes muy graves: la primera prioridad se asignará al fallo de la primera barrera de productos de fisión en caso de no adoptarse medidas mitigadoras<sup>18</sup>. Al establecer las

---

<sup>16</sup> Obsérvese la diferencia entre una secuencia de accidentes y un estado de daño de la central: el último es una condición de daño observable en la central, independientemente de la secuencia de accidentes que haya originado esa condición de daño.

<sup>17</sup> Por ejemplo, el llenado de un generador de vapor vacío en un reactor de agua a presión es una estrategia eficaz si hay riesgo de rotura por fluencia del tubo del generador de vapor o de fuga del tubo del generador de vapor, pero carece de importancia si no hay ese riesgo o fuga. En un reactor en ebullición es importante conocer si sigue siendo necesaria la capacidad de eliminación de la presión. Otro ejemplo de estrategia es el reconocimiento de una secuencia de derivación de la contención. En todos estos casos, la información sobre los estados de daño de la central mejora la ejecución de una medida de gestión de accidentes.

<sup>18</sup> En los escenarios de presión elevada en reactores de agua a presión, estas prioridades suelen ser los tubos del generador de vapor, mediante el mecanismo de rotura por fluencia. Por tanto, la primera prioridad consiste en impedir esa rotura por fluencia rellenando el generador de vapor.

prioridades se deberían considerar las funciones de apoyo (medios auxiliares como la corriente alterna y la corriente directa y el agua de refrigeración).

3.28. Si se consideran estrategias que deben aplicarse en cierto intervalo de tiempo, deberían tenerse en cuenta las incertidumbres posiblemente grandes para determinar ese intervalo de tiempo. Con todo, habrá que tener cuidado en no descartar estrategias potencialmente útiles.

3.29. Cuando se requiera una atención inmediata y medidas a corto plazo, tal vez no haya tiempo suficiente para deliberar sobre todas las posibles consecuencias de las acciones. Las orientaciones deberían elaborarse teniendo esto en cuenta. Un ejemplo es un posible riesgo inmediato en una barrera de productos de fisión, en que por “inmediato” se entiende que no se tiene tiempo, ni tiempo limitado, para una evaluación previa a la adopción de decisiones.

3.30. Debe hacerse notar que las funciones de seguridad derivadas de las actividades de prevención pueden resultar pertinentes al definir y seleccionar las estrategias de mitigación, por lo que debería incorporarse la necesidad de mantener esas funciones en las estrategias de mitigación. Por ejemplo, conviene mantener la subcriticidad de la geometría del núcleo o la configuración de los residuos del núcleo y establecer un recorrido del calor residual del núcleo o de los residuos del núcleo hasta un sumidero de calor definitivo, cuando sea posible<sup>19</sup>.

3.31. Cabe señalar también que las acciones destinadas a cumplir los objetivos relacionados con las funciones críticas de seguridad que son adecuadas en el ámbito de la prevención quizás no lo sean en el de la mitigación. Por ejemplo, es más difícil mantener subcrítica la geometría del núcleo cuando las barras de control se han fundido pero aún se mantienen intactos los elementos de combustible apilados. Por tanto, las funciones de seguridad relacionadas con los procedimientos de explotación de emergencia que se requieren en las actividades de mitigación deben revisarse para determinar su aplicabilidad y, sobre todo, las limitaciones y las posibles consecuencias negativas en los varios estados de daño de la central.

---

<sup>19</sup> Las estrategias en el ámbito de la mitigación pueden ser diferentes de las que se aplican en el ámbito de la prevención; por ejemplo, la extracción del calor residual puede producirse mediante el venteo del vapor de la contención escapado de una piscina en ebullición que cubra el material fundido. La prioridad se da a la contención intacta y no a la prevención perfecta de la emisión de material radiactivo.

## ELABORACIÓN DE PROCEDIMIENTOS Y DIRECTRICES

3.32. Las estrategias y acciones examinadas en la sección anterior deberían transformarse en procedimientos para el ámbito de la prevención (EOP) y en directrices para el de la mitigación (SAMG). Los procedimientos contienen un conjunto de medidas para impedir que un suceso se convierta en un accidente muy grave. Las directrices contienen una serie de acciones para mitigar las consecuencias de un accidente muy grave según las estrategias seleccionadas. Los procedimientos y las directrices contienen la información y las instrucciones necesarias para el personal responsable, incluso en relación con el uso del equipo, las limitaciones del equipo, las precauciones y los beneficios. Las directrices también abordan las varias consecuencias positivas y negativas de las acciones propuestas y ofrecen opciones.

3.33. Los procedimientos y directrices deberían contener los siguientes elementos:

- objetivos y estrategias;
- criterios de iniciación;
- intervalo de tiempo en que deben aplicarse las medidas (si procede);
- posible duración de las medidas;
- equipo y recursos necesarios (p.ej., corriente alterna y directa, agua);
- medidas que se han de llevar a cabo;
- precauciones;
- criterios de aceleración y terminación;
- monitorización de la respuesta de la central.

3.34. El conjunto de procedimientos y directrices debería incluir un diagrama lógico que indique una secuencia de parámetros pertinentes de la central que deben ser monitorizados y estar vinculados a los criterios para la iniciación, la aceleración o la terminación de los diversos procedimientos y directrices. La secuencia debería estar en consonancia con la prioridad de las estrategias, los procedimientos y las directrices conexas, como se señala en los párrafos 3.27 y 3.39.

3.35. En el ámbito de la prevención quizás sea posible determinar la secuencia de accidentes en cuestión sobre la base de un procedimiento apropiado para diagnosticar el suceso. Deberían establecerse orientaciones sobre situaciones en que no pueda obtenerse un diagnóstico o, si este se ha obtenido, en que se haya descubierto que es incorrecto o que se ha perdido durante la evolución del accidente. También las orientaciones pueden vincularse totalmente al estado



físico observado de la central y de ese modo no resulta necesario un nuevo diagnóstico de la secuencia de accidentes. Las orientaciones deberían estar destinadas a preservar o restaurar las funciones de seguridad de alto nivel (las funciones críticas de seguridad) atendiendo a las estrategias seleccionadas. El procedimiento de diagnóstico debería aplicarse a intervalos regulares durante la evolución del accidente para que se pueda restablecer el procedimiento elaborado concretamente para la secuencia de accidentes observada una vez que se haya reconocido o que se haya vuelto a reconocer ese procedimiento después de cualquier pérdida inicial de información.

3.36. Aunque en la mitigación tal vez no sea necesario que el personal responsable determine la secuencia de accidentes o se base en un escenario de accidente analizado con anterioridad para poder utilizar correctamente las SAMG, el personal debería poder determinar el estado de daño de la central para el uso correcto u óptimo<sup>20</sup> de las SAMG. Una pérdida provisional de información sobre los estados de daño de la central no debería impedir que se aplicaran las SAMG.

3.37. Al elaborar las orientaciones también conviene reconocer la posibilidad de que se haga un falso diagnóstico de escenarios o estados de daño de la central. La posibilidad de ese falso diagnóstico debería minimizarse, por ejemplo, utilizando señales redundantes y quizás incluyendo o dejando en las directrices acciones que de otro modo se habrían eliminado sobre la base del cambio de diagnóstico<sup>21</sup>. El centro de apoyo técnico puede eliminar este tipo de elementos de prioridad más baja si dispone de suficiente información sobre la evolución del accidente, pero debería ser consciente de la posibilidad de que la información sea falsa.

3.38. En las directrices deberían especificarse las posibles consecuencias positivas y negativas de las estrategias propuestas, en los casos en que la selección de las estrategias tenga que realizarse durante la evolución del accidente. El centro

---

<sup>20</sup> Aunque un enfoque no requiera el reconocimiento de los estados de daño de la central, se beneficiará de esa forma de reconocimiento si pueden suprimirse acciones o reducirse su prioridad con menor pertinencia para el estado de daño reconocido.

<sup>21</sup> A manera de ejemplo, hay combinaciones de señales (esa clase de combinación suele denominarse “rúbrica”) que se asemejan a un fallo de la vasija cuando en realidad ese fallo no se ha producido. Por tanto, las acciones que revistan interés para una fase en el interior de la vasija deberían mantenerse en una directriz que se elaborase para el caso en que se hubiera diagnosticado un fallo de la vasija, pero con una prioridad más baja.

de apoyo técnico debería verificar si son posibles otras consecuencias negativas y analizar sus repercusiones.

3.39. También es aconsejable definir las prioridades entre los diversos procedimientos y entre las varias directrices, según la prioridad de las estrategias subyacentes. Deberían resolverse los conflictos de prioridades, si los hubiera. Las prioridades pueden cambiar en el curso del accidente y, por tanto, las directrices deberían contener la recomendación de que la selección de las prioridades se examine a intervalos regulares. La selección de las acciones debería modificarse en consecuencia.

3.40. Deberían tenerse en cuenta las interrelaciones entre los EOP y las SAMG y preverse la transición correcta de los EOP a las SAMG, cuando proceda<sup>22</sup>. Las funciones y acciones de las estrategias indicadas en los EOP que se hayan considerado de interés en el ámbito de la mitigación deberían determinarse y mantenerse en las SAMG. Preferiblemente, no debería haber una transición regresiva formal del ámbito de la mitigación (SAMG) al de la prevención (EOP) una vez que se hayan dejado de aplicar los EOP, aunque estos se podrán seguir utilizando, según dicte el sentido común<sup>23</sup>. Aún así, cuando estos se apliquen, debería asegurarse que los EOP considerados sean aplicables y válidos desde el punto de vista del daño al núcleo y que el proceso de adopción de decisiones incluya todos los elementos necesarios relacionados con el daño al núcleo o la mitigación. Dado que los EOP se han diseñado para reactores con el núcleo intacto, pierden en principio su base de diseño en el proceso de mitigación y, por tanto, deberían dejar de aplicarse.

3.41. Es aconsejable demostrar la aplicabilidad y validez de los EOP cuando no dejen de aplicarse y se ejecuten paralelamente con las SAMG durante la mitigación. En ese caso, debería establecerse una jerarquía entre los EOP y las SAMG a fin de evitar cualquier conflicto.

3.42. Además de las condiciones para la aplicación de las SAMG, conviene especificar las condiciones para dejar de aplicarlas o los criterios para

---

<sup>22</sup> Los EOP pueden prever momentos para comenzar a aplicar las SAMG si algunas medidas no resultan satisfactorias. Un ejemplo puede ser un EOP para la refrigeración del núcleo cuando la temperatura de salida del núcleo no permanece por debajo de un límite especificado o no vuelve a estar por debajo de él (p.ej., 650°C).

<sup>23</sup> Aunque no se recomienda la transición regresiva de las SAMG a los EOP, hay casos, como la recuperación dentro de la vasija de un núcleo degradado, en que la utilización de algunos de los EOP puede ser apropiada después que se dejen de aplicar las SAMG.

adoptar disposiciones a largo plazo. En el apéndice VII de la Referencia [12] se proporciona un ejemplo.

3.43. El punto de transición del ámbito de la prevención al de la mitigación debería establecerse en algún momento previo al “daño inminente al núcleo” o al “inicio del daño al núcleo”<sup>24</sup>, o en algún otro momento bien definido (p.ej., cuando resulte ineficaz o imposible la ejecución de las medidas preventivas). La selección del punto de transición puede influir en la magnitud o la secuencia de los problemas posteriores para las barreras de productos de fisión. En esos casos, esta cuestión debería tomarse en consideración al seleccionar el punto de transición que, por consiguiente, debería ser un momento óptimo para la gestión del accidente<sup>25</sup>. Cuando el punto de transición se especifique sobre la base de criterios condicionales (es decir, que la transición se haga si fracasan ciertas acciones previstas en los EOP), debería tenerse en cuenta el tiempo necesario para determinar el punto de transición y sus posibles consecuencias. Por ejemplo, debería considerarse el aumento de la temperatura del núcleo y el consiguiente daño al núcleo durante los intentos por impedir el daño al núcleo<sup>26</sup>.

3.44. En la elaboración de los procedimientos y directrices debería considerarse la posibilidad de la transición de los EOP a las SAMG antes de que comience a funcionar el centro de apoyo, es decir, antes de que esté listo para formular su primera recomendación. Esta situación puede darse cuando un suceso se convierte rápidamente en un accidente muy grave. Cualquier orientación en materia de mitigación que se imparta a los operadores de la sala de control debería presentarse de una forma que haga posible una pronta y fácil ejecución y, por tanto, debería presentarse preferiblemente en el mismo formato que los procedimientos de explotación.

3.45. Es aconsejable que los procedimientos y directrices se basen en parámetros de la central directamente cuantificables. Cuando no se disponga de mediciones,

---

<sup>24</sup> El “inicio del daño al núcleo” puede considerarse que sea, por ejemplo, un momento en que la masa fundida calculada sea superior a 0 kg; este momento puede determinarse utilizando un código informático adecuado para accidentes muy graves.

<sup>25</sup> En algunas centrales, una transición tardía (es decir, a una temperatura alta de salida del núcleo) puede plantear un riesgo inicial de emisión de hidrógeno.

<sup>26</sup> Por ejemplo, si la transición debe hacerse cuando la temperatura de salida del núcleo alcanza determinado nivel y además, fracasan las acciones previstas en las EOP, debería calcularse el tiempo perdido en los intentos por impedir el daño al núcleo y calcularse el aumento de temperatura correspondiente del núcleo para determinar si ya se ha producido el daño al núcleo.

los parámetros deberían calcularse con simples cálculos o gráficos previamente calculados. Los parámetros que puedan obtenerse únicamente después de realizar cálculos complejos durante el accidente no deberían utilizarse como base de las decisiones<sup>27</sup>.

3.46. Los procedimientos y directrices deberían redactarse de manera comprensible para los usuarios y de tal forma que puedan ejecutarse fácilmente en condiciones de gran tensión; asimismo, deberían contener suficientes detalles que garanticen que la atención se centre en las acciones necesarias<sup>28</sup>. Es aconsejable que los procedimientos y directrices se elaboren en un formato previamente definido<sup>29</sup>. Las instrucciones para los operadores deberían ser claras y explícitas.

3.47. Las SAMG deberían redactarse de tal modo que haya suficiente margen para desviarse de lo previsto cuando ello sea necesario o conveniente. Esa flexibilidad puede ser necesaria debido a la incertidumbre del estado de la central y a la eficacia o los resultados de las acciones destinadas a abarcar sucesos y complicaciones imprevistos. La estructura y el formato de las orientaciones deberían configurarse de forma que estén en proporción a esa incertidumbre. En consecuencia, las orientaciones no deberían formularse en tal forma que el personal propenda a ejecutarlas al pie de la letra.

3.48. Los procedimientos y directrices deberían contener orientaciones sobre las situaciones en que no se disponga de equipo para la gestión de accidentes (p.ej., debido al fallo o bloqueo del equipo). Deberían estudiarse métodos alternativos y, si existen, incluirse en las orientaciones.

3.49. Cabe señalar que es posible que varios equipos comiencen a funcionar automáticamente cuando ciertos parámetros alcancen valores previamente

---

<sup>27</sup> La temperatura de las vainas de combustible, por ejemplo, no es un parámetro adecuado sobre el cual puedan basarse las decisiones, ya que solo puede determinarse mediante cálculos complejos.

<sup>28</sup> Cuando se recomiende la inyección primaria, por ejemplo, debería determinarse si esto debería iniciarse a base de fuentes específicas (agua borada) u otras fuentes (posiblemente agua no borada como el agua de extinción de incendios). Además, deberían definirse las gamas disponibles para lograr la inyección y deberían establecerse orientaciones para configurar las gamas no convencionales cuando estas se requieran. Conviene conocer el período durante el cual se dispondrá de las fuentes y qué debe hacerse, si sustituirlas o restituir las una vez que se hayan agotado.

<sup>29</sup> En la referencia [16] se presenta un formato muy utilizado para la elaboración de una “guía de redactores” de procedimientos.

definidos (“puntos de ajuste”). Esos arranques automáticos se han concebido normalmente para sucesos del ámbito de la prevención y pueden resultar contraproducentes en el proceso de mitigación. Por consiguiente, deberían examinarse todas las acciones automáticas para determinar su repercusión en el proceso de mitigación y, cuando sea apropiado, inhibirse el arranque automático del equipo. Seguidamente debería considerarse en la SAMG el arranque manual del equipo de que se trate.

3.50. Conviene elaborar orientaciones para diagnosticar fallos del equipo y definir métodos para restaurar y poner en servicio el equipo averiado. Las orientaciones deberían incluir recomendaciones sobre las prioridades respecto de las medidas de restauración. En este contexto, debería tomarse en consideración lo siguiente:

- la importancia del equipo averiado para la gestión del accidente;
- las posibilidades de restaurar el equipo;
- la probabilidad de restaurar el equipo con éxito si varios de sus elementos están fuera de servicio;
- la dependencia del número de sistemas de apoyo averiados;
- las dosis al personal que entraña la restauración del equipo.

3.51. La recuperación del equipo averiado o la recuperación a partir de acciones erróneas del operador que hayan originado el accidente que sobrepase al de base de diseño o al accidente muy grave debería ser una estrategia primordial en la gestión de accidentes y conviene que se recoja en las orientaciones sobre la gestión de accidentes. El tiempo para recuperar el equipo averiado puede superar el intervalo previsto para prevenir el daño al núcleo. Si esto sucede, puede decidirse una transición al proceso de mitigación más temprana que la basada en los parámetros de la central.

3.52. Los niveles directivos correspondientes de la entidad explotadora de la central, así como las entidades externas encargadas de la protección del público, también deberían ser conscientes de la posible necesidad de proceder a una pronta transición al proceso de mitigación. La transición tardía al proceso de mitigación puede causar un grave deterioro de la seguridad y propiciar la posibilidad de que se produzcan emisiones dentro y fuera del emplazamiento. La determinación de una transición más temprana debería tenerse en cuenta en el plan de emergencia de la central.

3.53. En la elaboración de los procedimientos y directrices conviene tener en cuenta la habitabilidad de la sala de control y la accesibilidad de otras zonas de interés, como el centro de apoyo técnico o las zonas para acciones a nivel local.

Debería investigarse si las tasas de dosis previstas y las condiciones ambientales dentro de la sala de control y en otras zonas de interés pueden hacer necesario establecer restricciones para el personal. Conviene determinar cuál será el efecto de esas situaciones en la aplicación del programa de gestión de accidentes; también debería considerarse la sustitución del personal por motivos de dosis.

3.54. En el caso de que estén funcionando varias unidades en el mismo emplazamiento, en las orientaciones de gestión de accidentes debería tenerse en cuenta el uso de una unidad que no haya sido afectada. También conviene determinar si tiene que ponerse en régimen de parada la unidad vecina. Debería tenerse especial cuidado en definir las limitaciones del equipo no estándar que podrían compartir las unidades. Por ejemplo, tal vez sea útil un entrecruzamiento de los sistemas de extracción de calor de una unidad no afectada para extraer el calor de la unidad afectada, aunque esto puede requerir que la unidad no afectada permanezca en determinado nivel de potencia previamente definido.

3.55. Como parte de las orientaciones sobre la gestión de accidentes muy graves y de la estimación de los parámetros señalados en el párrafo 3.45, conviene elaborar gráficos previamente calculados o fórmulas simples, según proceda, para evitar la necesidad de realizar cálculos complejos durante el accidente en una posible situación de gran tensión. Estos elementos suelen denominarse “ayudas computacionales” y deberían incluirse en la documentación de las SAMG. En el apéndice III de la Referencia [12] se incluyen ejemplos. En las ayudas computacionales deberían tenerse en cuenta la vida limitada de las baterías de las computadoras autónomas (computadoras personales) y la posibilidad de la pérdida de corriente alterna durante escenarios de accidente muy graves.

3.56. Es aconsejable definir normas de uso para la aplicación de las SAMG. En esas normas se define qué debe hacerse al aplicar las directrices en la práctica. Las preguntas que habrá que responder son, por ejemplo, las siguientes:

- ¿Si un EOP se está ejecutando pero se llega al punto de comienzo de las SAMG, deberían interrumpirse las acciones del EOP, continuarse si no están en conflicto con la SAMG aplicable, o proseguirse en cualquier caso?
- ¿Deberían continuarse en la SAMG las acciones de restauración consignadas en el EOP?
- ¿Si se está ejecutando una SAMG, pero también se llega al punto de comienzo de otra SAMG, debería esa otra SAMG ejecutarse paralelamente?
- ¿Debería demorarse la consideración de iniciar otra SAMG aunque estén cambiando de valor los parámetros que reclamaron la primera SAMG?

3.57. Conviene preparar documentación de antecedentes adecuada paralelamente a la elaboración y redacción de guías independientes. La documentación de antecedentes debería cumplir las siguientes funciones:

- debería ser una fuente de referencia autónoma con respecto a lo siguiente:
  - la base técnica de las estrategias y las desviaciones de estrategias genéricas, si las hubiera;
  - la descripción detallada de las necesidades de instrumentación;
  - los resultados del análisis de apoyo;
  - la base de las medidas establecidas en procedimientos y directrices y su descripción detallada;
  - la base para los cálculos de los puntos de ajuste;
- debería incluir una demostración del cumplimiento de los requisitos de garantía de calidad pertinentes;
- debería servir de documentación básica para los cursos de capacitación del personal de apoyo técnico y los operadores.

## DISPOSICIONES PARA LA GESTIÓN DE ACCIDENTES EN RELACIÓN CON EL EQUIPO INFORMÁTICO

3.58. Es aconsejable que la central esté dotada del equipo informático necesario para cumplir las funciones de seguridad fundamentales (control de la reactividad, extracción del calor del combustible, confinamiento del material radiactivo), en la medida en que sea razonable con respecto a los accidentes que sobrepasan a los de base de diseño y los accidentes muy graves. Deberían establecerse sistemas o elementos de diseño específicos para la gestión de accidentes muy graves, en particular para las nuevas centrales.

3.59. En las nuevas centrales normalmente hay elementos de diseño que eliminan prácticamente algunos fenómenos de accidentes muy graves, o se dispone de equipo específico para la gestión de accidentes que sobrepasan a los de base de diseño y los accidentes muy graves. Sin embargo, en el caso de algunas centrales establecidas, tal vez se llegue a la conclusión de que no es posible elaborar un programa significativo<sup>30</sup> para la gestión de accidentes muy graves

---

<sup>30</sup> Por “significativo” se entiende “la reducción del riesgo de manera apreciable o a un nivel aceptable”.

de la central en la configuración y distribución actuales del equipo informático.<sup>31</sup> En ese caso, debería tenerse en cuenta la consiguiente modificación de la central.

3.60. También conviene considerar la posibilidad de utilizar equipo informático cuando se necesite disponer de funciones indispensables (p.ej., extracción del calor residual) por un tiempo prolongado<sup>32</sup> y no pueda preverse que el equipo normalmente previsto para esta función se mantenga disponible por largo tiempo. Al calcular la disponibilidad a largo plazo de los componentes debería tenerse en cuenta la posibilidad limitada –o la imposibilidad– de mantenimiento<sup>33</sup>.

3.61. También deberían proponerse cambios en el diseño cuando no puedan reducirse a un nivel aceptable las incertidumbres en la predicción analítica de los riesgos para las barreras de productos de fisión.

3.62. Existen métodos de análisis adecuados basados en mediciones de la seguridad o el riesgo que deberían utilizarse para ayudar a la adopción de decisiones con respecto a las mejoras. Debería tomarse en consideración el hecho de que el análisis sobre el terreno de la gestión de accidentes muy graves con frecuencia no es de tipo conservador, sino del tipo de análisis de mejor estimación y no establece márgenes por sí mismo<sup>34</sup>.

3.63. Las mejoras del equipo destinadas a perfeccionar los elementos de prevención de la central deberían considerarse como tareas de alta prioridad. Ejemplos son la cualificación de las válvulas de presurización para la operación de purga y aporte y otros elementos redundantes de los sistemas importantes para la seguridad (corriente alterna y directa, agua de refrigeración disponible).

---

<sup>31</sup> Un ejemplo es un reactor con bajo nivel de contención vulnerable a explosiones de hidrógeno. En ese caso tal vez sea necesaria la inertización.

<sup>32</sup> Por ejemplo, es probable que haya que incorporar la extracción de calor residual durante muchos meses antes de que pueda contarse con la extracción por los procesos naturales.

<sup>33</sup> Esto reviste sumo interés en lo que se refiere a los componentes activos, aunque también pueden dañarse los componentes pasivos (p.ej., la obstrucción de los intercambiadores de calor por los residuos presentes en el agua en circulación).

<sup>34</sup> Los márgenes pueden ser conservadores en una dirección pero no serlo en otra. Por ejemplo, el supuesto de que el fallo por fluencia del ramal de agua caliente no impedirá el fallo por fluencia del generador de vapor puede ser conservador al definirse las estrategias para impedir el fallo por fluencia del generador de vapor, pero tal vez no sea conservador al abordar la ubicación definitiva de los residuos del núcleo en el fallo de la vasija del reactor, ya que el fallo del ramal de agua caliente puede dispersar muchos residuos del núcleo a través de la contención, mientras que la rotura por fluencia del tubo del generador de vapor no hará esto.



3.64. En lo referente a la mitigación, la mejora del equipo debería centrarse en el mantenimiento de la función de contención y, en particular, deberían tenerse en cuenta las siguientes funciones:

- el aislamiento de la contención en un accidente muy grave, incluida la prevención de la derivación;
- la monitorización de los parámetros en la contención, lo que permite un diagnóstico temprano de la situación de la unidad, incluida la concentración de productos de fisión e hidrógeno;
- el aseguramiento de la estanqueidad de la contención, incluso la preservación de la funcionalidad de los dispositivos de aislamiento y las penetraciones y los bloqueos del personal durante un tiempo razonable después de un accidente muy grave;
- la gestión de la presión y la temperatura en la contención mediante un sistema de extracción de calor de la contención;
- el control de la concentración de gases combustibles, productos de fisión y otros materiales emitidos durante los accidentes muy graves;
- la protección contra la sobrepresión y subpresión de la contención<sup>35</sup>;
- la prevención de escenarios de fusión del núcleo a alta presión;
- la prevención de la fusión de la vasija;
- la prevención y mitigación de la fusión de la placa base de la contención por el núcleo fundido;
- la monitorización y el control de fugas de la contención.

3.65. En vista de la máxima importancia de la integridad de la contención, conviene adoptar todas las medidas que puedan llevarse a cabo con costos aceptables para asegurarla, a menos que se justifique lo contrario. Los costos aceptables, como mínimo, se definirán como los costos de la dosis de radiación al público general en las inmediaciones de la central<sup>36</sup> que se habrían evitado aplicando esas medidas. El órgano regulador debería determinar métodos aceptables para evaluar esas exposiciones a la radiación<sup>37</sup> que se habrán evitado y determinar el valor de la dosis evitada<sup>38</sup>. Al definir el valor de la dosis evitada,

---

<sup>35</sup> Esto se refiere a la presión subatmosférica después del venteo de la contención y la ulterior condensación del vapor en la contención.

<sup>36</sup> Algunos países definen las inmediaciones de una central como la zona situada a 80 kilómetros de la central.

<sup>37</sup> Método adecuado es aquel que sea propuesto por la compañía eléctrica y que luego sea aprobado (o modificado) por el órgano regulador.

<sup>38</sup> Por ejemplo, a veces se utiliza un valor de 100 000 dólares de los Estados Unidos por sievert-hombre evitado.

deberían considerarse todos los costos y otras consecuencias, incluidos los efectos a largo plazo para el público y la seguridad que, tras un accidente muy grave, se derivarían de las emisiones que se habrían evitado aplicando tales medidas<sup>39</sup>. El objetivo final de este método es asegurar que los fallos de la contención sean sumamente improbables.

3.66. Deberían adoptarse medidas apropiadas para extraer el calor residual del núcleo y llevarlo a un sumidero de calor definitivo. Cuando se decida o se considere necesario extraer el calor residual mediante el venteo repetido o continuo de la atmósfera de la contención, ese venteo, en principio, debería tener lugar por vías que puedan propiciar la reducción apropiada de las emisiones de productos de fisión, por ejemplo, mediante la filtración o la depuración del aire evacuado.

3.67. Ejemplos de posibles cambios de diseño que pueden efectuarse en las centrales establecidas son: respiradero de la contención endurecido o filtrado; recombinadores autocatalíticos pasivos; sistema de ignición; sistema pasivo de refrigeración de la contención; inundación de la cavidad del reactor; aislamiento de las rutas al medio ambiente que puedan existir después del fallo de la placa base<sup>40</sup>; baterías de plantas más grandes o fuentes de energía alternativas; e instrumentación mejorada (escala ampliada o nuevas mediciones) como, por ejemplo, para el nivel del generador de vapor. Una modificación puede cumplir varias funciones. Por ejemplo, se puede utilizar un respiradero filtrado de la contención para prevenir la sobrepresión de la contención, aunque también para liberar hidrógeno (u oxígeno) y reducir el riesgo de la formación de hidrógeno, para impedir la fuga sin filtración de las aberturas existentes o de la contención que tenga una tasa de fuga existente con anterioridad (relativamente) importante, o para impedir el fallo de la placa base –si se prevé que ocurra– a una presión de contención elevada.

3.68. Si el equipo y los sistemas empleados para hacer frente a las condiciones base de diseño se complementan con equipo suplementario para mitigar accidentes muy graves, este último equipo debería ser preferiblemente independiente.

---

<sup>39</sup> A discreción del gobierno, también pueden incluirse los costos y otras consecuencias asociadas con la protección, el mantenimiento o la restauración del medio ambiente, ya que esos costos pueden ser extremadamente altos.

<sup>40</sup> Algunas centrales cuentan con una vía directa al medio ambiente en caso de fusión del hormigón por debajo de la cavidad.

3.69. En relación con el equipo específico o mejorado, debería tenerse suficiente confianza en él y, cuando sea posible, demostrarse su capacidad para aplicar las medidas requeridas en condiciones que sobrepasen a las de accidente base de diseño y de accidentes muy graves. Habrá que demostrar la capacidad del equipo cuando otros métodos de evaluación no ofrezcan suficiente confianza. No obstante, el nivel de cualificación aplicado a ese equipo no debe ser forzosamente el mismo que el que se requiere normalmente para los componentes y sistemas destinados a hacer frente a condiciones de accidente base de diseño. Asimismo, también podrán relajarse los requisitos relativos a la redundancia de esos sistemas en comparación con los requisitos aplicables a los accidentes base de diseño.

3.70. Es aconsejable reconocer la exactitud requerida de los diversos instrumentos utilizados para la gestión de accidentes muy graves al evaluar la capacidad de la instrumentación. En muchos casos la indicación del instrumento adecuado para el análisis exacto de las tendencias puede ser más importante que la exactitud de los valores indicados.

## FUNCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN Y EL CONTROL

3.71. Dado que las SAMG dependen de la capacidad para calcular la magnitud de varios parámetros clave de la central, deberían definirse los parámetros de la central necesarios para las medidas tanto preventivas como mitigadoras relacionadas con la gestión de accidentes. Conviene verificar si se pueden obtener todos esos parámetros de la instrumentación de la central. Cuando los instrumentos puedan proporcionar información sobre la progresión del accidente en una forma no específica, esas posibilidades deberían investigarse e incluirse en las orientaciones<sup>41</sup>.

3.72. Es aconsejable tener en cuenta la cualificación actual de los instrumentos correspondientes y reconocer que el equipo puede seguir funcionando más allá de su margen de cualificación. Deberían indicarse otros instrumentos en que no exista la instrumentación primaria o en que esta no sea fiable. Cuando no exista esa instrumentación, deberían crearse otros medios como, por ejemplo, ayudas computacionales.

---

<sup>41</sup> Las lecturas del detector de neutrones fuera del núcleo, por ejemplo, se ven influidas por la ubicación de los residuos del núcleo en la vasija y por la cantidad de agua remanente, de modo que estas lecturas podrían utilizarse para adquirir información sobre la evolución del accidente.

3.73. El uso de instrumentación cualificada para las condiciones ambientales previstas es el método preferido para obtener la información necesaria.

3.74. El efecto de las condiciones ambientales en la lectura del instrumento debería calcularse e incluirse en las orientaciones. Conviene tomar en consideración que una condición ambiental local puede desviarse de las condiciones mundiales y que, por tanto, la instrumentación cualificada en condiciones mundiales tal vez no funcione correctamente en condiciones locales<sup>42</sup>. Debería definirse el modo de fallo previsto y la indicación resultante del instrumento (p.ej., por encima de la escala, por debajo de la escala, flotación) para los fallos de la instrumentación en condiciones de accidente muy grave que sobrepasen a las previstas en la base de diseño.

3.75. Los accidentes muy graves pueden plantear problemas que sobrepasen a los previstos en la base de diseño para la instrumentación que funcione fuera de su margen de funcionamiento de diseño. Como en ese caso la indicación de los instrumentos puede ser errónea, todas las indicaciones que se utilicen para diagnosticar las condiciones de la central para la gestión de accidentes muy graves deberían ser objeto de una evaluación comparativa en relación con otras indicaciones directas o derivadas a fin de reducir los riesgos asociados con las lecturas erróneas. En la práctica, toda lectura clave de un instrumento específico no cualificado que se utilice para el diagnóstico o verificación debería disponer de un método alternativo para verificar que la lectura primaria (es decir, la lectura del instrumento específico) es razonable<sup>43</sup>. Cuando no pueda definirse otro medio de obtener un valor de parámetro clave, debería considerarse la posibilidad de mejorar o reemplazar los instrumentos para lograr esa indicación alternativa.

3.76. En la elaboración de las SAMG, conviene incluir el fallo potencial de importantes instrumentos no cualificados durante la evolución del accidente y, cuando sea posible, otras estrategias en que no se utilice esta instrumentación<sup>44</sup>.

---

<sup>42</sup> La expulsión del fundido a alta presión, por ejemplo, propaga los residuos alrededor de la contención y aunque las condiciones mundiales puedan mantenerse dentro de su cualificación general, el entorno local puede resultar muy peligroso (p.ej., radiación debida a productos de fisión depositados a nivel local, calentamiento excesivo debido al calor residual de productos de fisión depositados).

<sup>43</sup> Se recomienda que la lectura sea “razonable” más que “exacta”, ya que la precisión en general no es necesaria.

<sup>44</sup> Un ejemplo es la indicación del nivel del generador de vapor: si esta se pierde, la política que se aplica en algunas centrales es detener la circulación de agua de alimentación y dejar que se vacíe el generador de vapor; en otras centrales se supone que el generador de vapor está vacío y que seguirá alimentándose, lo que supone también que se acepta el riesgo de que se llene demasiado. Las SAMG aplicables deberían elaborarse en consecuencia.

También debería considerarse la capacidad para inferir parámetros importantes de la central de la instrumentación local o de medios no convencionales. Por ejemplo, el nivel del generador de vapor puede inferirse de las mediciones de presión locales en el circuito de vapor y los circuitos de purga del generador de vapor.

3.77. Conviene indicar la necesidad de elaborar ayudas computacionales para obtener información cuando falten los parámetros o sus mediciones no sean fiables y, en consecuencia, deberían elaborarse ayudas computacionales apropiadas.

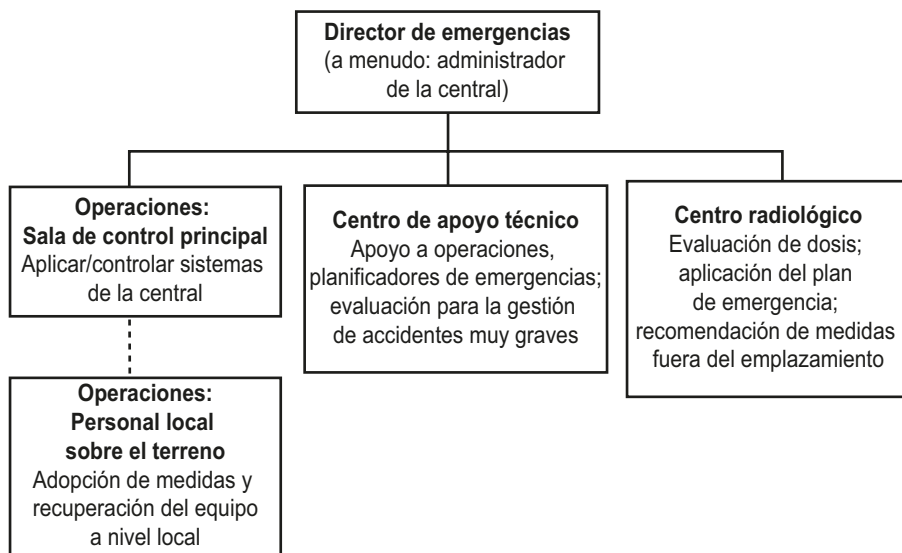
## RESPONSABILIDADES Y VÍAS DE AUTORIZACIÓN

3.78. En la documentación del programa de gestión de accidentes y de la entidad general de respuesta a emergencias deberían definirse claramente las funciones y responsabilidades inherentes a la gestión de accidentes, tanto desde el punto de vista de la prevención como de la mitigación. Cuando las entidades fuera del emplazamiento cumplan responsabilidades en la gestión de accidentes, esto debería indicarse. En la figura 2 se presenta un ejemplo de configuración típica de los elementos técnicos de la entidad de respuesta a emergencias dentro del emplazamiento.

3.79. Las funciones del personal participante en la gestión de accidentes muy graves deberían clasificarse en tres categorías:

- 1) Evaluación/recomendación (evaluación de las condiciones de la central, definición de posibles medidas, evaluación de los posibles efectos de estas medidas, y recomendación de medidas que se habrán de aplicar y, después de su ejecución, evaluación del resultado de las medidas; los empleados encargados de estas funciones suelen denominarse “evaluadores”);
- 2) Autorización (adopción de decisiones: aprobación de la medida recomendada para su ejecución; los empleados que cumplen estas funciones suelen denominarse “encargados de adoptar decisiones”).
- 3) Realización de las acciones (operación del equipo según sea necesario, incluida la verificación del funcionamiento; los empleados encargados de estas funciones suelen denominarse “ejecutores”).

En el apéndice figuran otras recomendaciones para el uso de las SAMG.



*Fig. 2 Configuración típica de los elementos técnicos de la entidad de respuesta a emergencias in situ.*

3.80. La gestión de accidentes desde el punto de vista de la prevención se caracteriza por la necesidad de emprender acciones cuando tengan carácter prioritario la restauración de la refrigeración del núcleo y el mantenimiento de la integridad del combustible. Las principales medidas adoptadas en la gestión de accidentes en relación con la prevención son los EOP. La adopción de decisiones debería correr a cargo del personal de la sala de control (es decir, el supervisor de turno o el responsable de turno, o una persona especializada en particular, como un ingeniero de seguridad). Para situaciones complejas en que se considere apropiado, la adopción de decisiones puede tener lugar a un nivel superior de autoridad. En el ámbito de la prevención, el centro de apoyo técnico debería estar disponible para prestar apoyo técnico al personal de la sala de control.

3.81. Ante un suceso que se convierta en un accidente muy grave, el traspaso de las responsabilidades y facultades para la adopción de decisiones del personal de la sala de control a una autoridad de nivel superior debería efectuarse en algún momento especificado, ya que la adopción de decisiones resulta muy compleja por las incertidumbres que entraña y además, porque puede requerir medidas con consecuencias que vayan más allá de la información disponible en la sala

de control o incluso en la central<sup>45</sup>. En el proceso de mitigación el centro de apoyo técnico debería encargarse de realizar evaluaciones y recomendar medidas de recuperación a la autoridad encargada de adoptar decisiones.

3.82. Las facultades para adoptar decisiones con respecto a la mitigación deben conferirse a un funcionario directivo de alto nivel, que en este caso sería el director de emergencias, quien debería tener facultades para decidir acerca de la aplicación de las medidas de gestión de accidentes muy graves que proponga el centro de apoyo técnico o, en caso necesario, basarse en la deliberación del propio director de la central. El director de emergencias debería conocer ampliamente la situación real de la central y otros aspectos pertinentes de la respuesta a emergencias, incluidos los efectos fuera del emplazamiento<sup>46</sup>.

3.83. En el proceso de mitigación el personal de la sala de control debería proporcionar información para las evaluaciones del centro de apoyo técnico sobre la base de su conocimiento de la capacidad del equipo y la instrumentación de la central y de las otras aptitudes especiales que ha adquirido durante su capacitación y debido a que probablemente haya experimentado las fases iniciales del accidente. En principio, debería procurarse que haya consenso entre las observaciones o evaluaciones del personal de la sala de control y las evaluaciones o recomendaciones del centro de apoyo técnico. El personal de la sala de control no debería esperar por las preguntas o instrucciones del centro de apoyo técnico, sino que más bien debería acercarse por propia iniciativa con la información y los resultados que considerase útiles.

3.84. Es aconsejable que todos los traspasos de autoridad se definan claramente cuando las funciones y responsabilidades asignadas a los miembros de la entidad de respuesta a emergencias en el emplazamiento sean diferentes en el ámbito de la prevención y en el de la mitigación.

3.85. En el programa de gestión de accidentes muy graves no deberían asignarse las responsabilidades de un modo que no esté en consonancia con los requisitos de la licencia del explotador. No obstante, esa licencia no debería limitarse a las

---

<sup>45</sup> Por ejemplo, la intención de proceder al venteo de la contención en cierto momento y durante un tiempo determinado en función de los parámetros de la central tal vez no esté a tono en ese momento con las acciones que haya propuesto la entidad de respuesta a emergencias fuera del emplazamiento.

<sup>46</sup> El director de respuesta a emergencias también debe encargarse de efectuar la notificación a los grupos situados fuera del emplazamiento. Esto se reseña en el plan de emergencia (véase ref. [14], párr. 4.23).

responsabilidades requeridas y debería adaptarse cuando fuera útil o necesario para la aplicación de un programa adecuado de gestión de accidentes muy graves. Por ejemplo, debería permitirse a los explotadores violar los límites y condiciones para la explotación normal a fin de mitigar un accidente muy grave, con sujeción a los controles y la supervisión apropiados.

3.86. En el traspaso de la autoridad al director de emergencias, conviene especificar también las acciones y funciones que pudieran o debieran mantenerse en la sala de control y que pudiera decidir el personal de la sala de control independientemente del director de emergencias<sup>47</sup>. Como quiera que el personal de la sala de control también se encarga de ejecutar las medidas decididas por el director de emergencias, deberían establecerse una coherencia y jerarquía entre los dos grupos de acciones.

3.87. Cabe señalar que el traspaso de responsabilidades en el curso de un accidente complejo plantea riesgos por sí mismo. De ahí que sea necesario que el traspaso tenga lugar en un momento en que se reduzcan al máximo tales riesgos y, por tanto, que sea óptimo desde el punto de vista de la gestión de accidentes muy graves. Idealmente el traspaso no debería crear un “vacío” en la adopción de decisiones y las acciones necesarias. En consecuencia, el traspaso formal no debería tener lugar hasta que el nuevo encargado de adoptar decisiones esté listo para formular la primera decisión. Todo traspaso de responsabilidades debería estar en consonancia con las transiciones previstas en el plan de emergencia (véase la Referencia [14]).

3.88. Deberían especificarse los criterios para la activación del centro de apoyo técnico y el personal de la sala de control debería seguir aplicando las medidas de gestión de accidentes muy graves hasta que esté operativo el centro de apoyo técnico. Es aconsejable redactar esas medidas en un formato con el que esté familiarizado el personal de la sala de control (p.ej., en el mismo formato que los EOP).

3.89. Debería procurarse el apoyo del proveedor de la central u otro apoyo equivalente para la aplicación de otras recomendaciones cualificadas para la gestión de accidentes, si ese apoyo ya no forma parte de las funciones

---

<sup>47</sup> Estas comprenden actividades que el personal de la sala de control puede llevar a cabo de manera independiente, como mantener las condiciones de apoyo (p.ej., refrigeración de la sala, agua industrial) y responder a algunas alarmas; deberían especificarse también las actividades que el personal de la sala de control no debe realizar por su propia cuenta (p.ej., puesta en marcha de equipo pesado).



de la entidad de respuesta a emergencias. Los mecanismos para solicitar apoyo deberían estar bien establecidos y la capacidad de apoyo debería comprobarse cada cierto tiempo. El proveedor o la entidad equivalente que preste ese apoyo deberían mantenerse al corriente de todos los cambios de interés efectuados en la central.

3.90. Es aconsejable que las responsabilidades definidas en la documentación del programa de gestión de accidentes muy graves se consignen en el plan de emergencia, ya que este es el documento que define la organización general de la respuesta a emergencias de una central nuclear. Conviene efectuar un examen del plan de emergencia con respecto a las acciones que deberían realizarse de conformidad con el programa de gestión de accidentes para evitar conflictos.

3.91. El personal del centro de apoyo técnico debería conocer a fondo los EOP y las SAMG, y tener acceso a la información sobre la situación de la central. Debería conocer bien los fenómenos subyacentes de accidentes muy graves que se tienen en cuenta en las SAMG. También debería responsabilizarse de supervisar la eficacia de las medidas de gestión de accidentes muy graves una vez que se hayan iniciado. El grupo del centro de apoyo técnico debería mantener una extensa comunicación con el personal de la sala de control para beneficiarse de su experiencia y conocimiento respecto de la capacidad de la central.

3.92. Los encargados de adoptar decisiones deberían asegurarse de que comprenden las consecuencias e incertidumbres inherentes a sus decisiones; los ejecutores deberían asegurarse de que conocen las acciones que puede pedirseles que realicen; y los evaluadores deberían asegurarse de que conocen la base técnica sobre la cual formularán sus recomendaciones.

3.93. Es aconsejable definir normas para el intercambio de información entre los varios grupos de la entidad de respuesta a emergencias. Deberían especificarse los mecanismos para garantizar la corriente de información entre el centro de apoyo técnico y la sala de control así como del centro de apoyo técnico a otras partes de la entidad de respuesta a emergencias, incluidos los encargados de ejecutar los planes de emergencia en el emplazamiento y fuera de él. La comunicación oral entre el centro de apoyo técnico y el personal de la sala de control debería llevarse a cabo por un miembro del centro de apoyo técnico que posea licencia de operador o por una persona con una cualificación similar. Como los accidentes muy graves generan una amplia comunicación entre los grupos situados en el emplazamiento y fuera de él, conviene tener cuidado en que esa comunicación no perturbe la gestión del accidente en la central.

3.94. Si el órgano regulador debe participar de algún modo en la adopción de decisiones<sup>48</sup>, conviene definir cómo se debe proceder en ese caso.

3.95. Si hay más de una unidad en el emplazamiento, es aconsejable que el plan de emergencia del emplazamiento incluya las interfaces necesarias entre las diversas partes de la entidad de respuesta a emergencias.

3.96. Es aconsejable comprobar y mantener la accesibilidad y habitabilidad de los lugares físicos de los grupos de evaluadores y ejecutores, así como del director de emergencias en condiciones de accidente muy grave<sup>49</sup>. Conviene considerar la posible pérdida de corriente alterna al establecer la comunicación entre la sala de control y el centro de apoyo técnico.

3.97. Conviene suministrar al centro de apoyo técnico información sobre el comportamiento de los equipos de instrumentación y control y de otro tipo (posiblemente ya resumidos en las SAMG para facilitar la referencia). Conviene que el centro de apoyo técnico tenga acceso directo a información sobre la central. Es aconsejable que en la elaboración de las SAMG se considere la disponibilidad y el uso de esa información. La información sobre la central existente en el centro de apoyo técnico debería reunirse y supervisarse debidamente; por ejemplo, mediante la transferencia de datos electrónicos. Cuando se requiera la transferencia manual de datos, ello debería hacerlo preferiblemente un miembro especializado del centro de apoyo técnico.

3.98. En el cuadro 1 se presentan las características de los ámbitos de la prevención y la mitigación.

---

<sup>48</sup> Algunos Estados Miembros aplican reglamentaciones concretas sobre la participación del órgano regulador; en otros casos, tal vez esta no se requiera, pero podría ser prudente la participación del órgano regulador (por ejemplo, para el venteo de la contención).

<sup>49</sup> Una solución que se aplica ampliamente es ubicar el grupo de evaluadores en la sala del centro de apoyo técnico y al grupo de ejecutores en la sala de control de la central. En la referencia [12] se muestran ejemplos de cómo puede organizarse esto de conformidad con el programa de gestión de accidentes.

## CUADRO 1. CARACTERÍSTICAS DE LOS ÁMBITOS DE LA PREVENCIÓN Y LA MITIGACIÓN

Temas/atributos	Ámbito de la prevención	Ámbito de la mitigación
Finalidad	Prevención del daño al núcleo mediante el cumplimiento de un conjunto de funciones de seguridad de importancia primordial (“funciones críticas de seguridad”)	Limitación de emisiones de material radiactivo al medio ambiente mediante acciones que comprenden el cese de la progresión de la fusión del núcleo, el mantenimiento de la integridad de la vasija de presión del reactor, el mantenimiento de la integridad de la contención y el control de las emisiones
Establecimiento de prioridades	Establecimiento de prioridades entre las diversas “funciones críticas de seguridad”	Establecimiento de prioridades entre las medidas mitigadoras, con la máxima prioridad acordada a la mitigación de importantes emisiones en curso y de amenazas inmediatas a las barreras de productos de fisión
Responsabilidades	Personal de la sala de control o jefe de la entidad de respuesta a emergencias, si se estima conveniente	Entidad de respuesta a emergencias, con el personal de la sala de control disponible para la prestación de asesoramiento y la ejecución de medidas
Función de la entidad de respuesta a emergencias	Entidad de respuesta a emergencias disponible para prestar asesoramiento a la sala de control o para la adopción de decisiones en relación con tareas complejas, si se estima conveniente	Entidad de respuesta a emergencias encargada de la adopción de decisiones

## CUADRO 1. CARACTERÍSTICAS DE LOS ÁMBITOS DE LA PREVENCIÓN Y LA MITIGACIÓN (cont.)

Temas/atributos	Ámbito de la prevención	Ámbito de la mitigación
Procedimientos/directrices	Aplicación de procedimientos para la adopción de medidas de gestión de accidentes (EOP) en la sala de control	Utilización de documentos de orientación (SAMG) por la entidad de respuesta a emergencias u otro personal designado
Utilización del equipo	Utilización de todos los sistemas todavía disponibles, uso de márgenes de diseño admisibles; posible uso de márgenes que sobrepasen a los previstos en el diseño en función del asesoramiento o la decisión de la entidad de respuesta a emergencias Las medidas que rebasan el alcance definido requieren asesoramiento, o instrucciones, de la entidad de respuesta a emergencias	Utilización de todos los sistemas todavía disponibles, también los que rebasan sus límites de diseño
Verificación de la eficacia	La eficacia de las medidas de gestión de accidentes puede verificarse con razonable exactitud	La eficacia de las medidas de gestión de accidentes puede verificarse de manera limitada Las consecuencias positivas y negativas de las acciones propuestas han de examinarse por anticipado y supervisarse mientras se aplican las medidas y después

## VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN

3.99. Todos los procedimientos y directrices deberían verificarse. Conviene realizar la verificación para confirmar la corrección de un procedimiento o directriz escritos y para garantizar que los factores técnicos y humanos se hayan incorporado correctamente [10]. El examen de los procedimientos y directrices específicos para la central en la fase de elaboración, de conformidad con las reglamentaciones de garantía de calidad, forma parte de este proceso de verificación. Además, debería considerarse la posibilidad de realizar exámenes independientes, cuando proceda, para perfeccionar el proceso de verificación.

3.100. Es aconsejable validar todos los procedimientos y directrices. La validación debería realizarse con objeto de confirmar que las medidas especificadas en los procedimientos y directrices pueden ser cumplidas por personal capacitado para gestionar los sucesos de emergencia [10].

3.101. Posibles métodos de validación de las SAMG son el uso de un simulador de alcance total (si está disponible), de un simulador de ingeniería u otro instrumento de análisis de la central, o de un método de simulacro de mesa. Debería seleccionarse el método más apropiado. Conviene realizar ensayos en el emplazamiento para validar el uso del equipo. Es aconsejable elaborar escenarios que indiquen varias situaciones (complejas) bastante realistas que requieran la aplicación de grandes partes de los EOP y las SAMG. Los escenarios abarcarán las incertidumbres en cuanto a la magnitud y el momento en que se presentan los fenómenos (los que se derivan tanto de la progresión del accidente como de las acciones de recuperación).

3.102. Los miembros del personal que participen en la validación de los procedimientos y directrices no deberían ser los mismos que los elaboraron.

3.103. Conviene documentar los resultados y datos procedentes de los procesos de verificación y validación, y utilizarlos para proporcionar información a quienes elaboran los procedimientos y directrices a fin de que realicen las actualizaciones necesarias antes de que la dirección de la entidad explotadora ponga en vigor los documentos.

## ENSEÑANZA Y CAPACITACIÓN

3.104. Es aconsejable definir los objetivos y necesidades de capacitación concretos para cada grupo que participa en la gestión de accidentes, incluso para la dirección de la entidad explotadora y otros niveles de adopción de decisiones y también, cuando proceda, para el personal de la autoridad reguladora. La capacitación debería estar en proporción a las tareas y responsabilidades de las funciones; de ahí que deba impartirse capacitación a fondo para las funciones clave que se desempeñan en el programa de gestión de accidentes muy graves, es decir, para los evaluadores del centro de apoyo técnico, los encargados de adoptar decisiones y los ejecutores. Los reguladores, cuando participen en las decisiones de la compañía eléctrica, deberían recibir capacitación de modo que comprendan plenamente la base de las decisiones que la empresa ha propuesto.

3.105. Los programas de capacitación deberían elaborarse por instructores profesionales. Los expertos en la materia pueden ayudar a elaborar el material de capacitación y debería recurrirse a ellos para que examinen la versión final de ese material. Es aconsejable que los expertos en la materia estén disponibles para responder a preguntas de los estudiantes que superen la capacidad de los instructores profesionales.

3.106. Conviene aplicar un enfoque sistemático con respecto a la capacitación (p.ej., como se define en la Referencia [17]). Ello comprende la definición de las necesidades de capacitación, la definición de los objetivos de capacitación, la determinación de la base técnica para el material de capacitación, la elaboración del material de capacitación, la especificación de la sede apropiada para impartir la capacitación y la evaluación de la eficacia de la capacitación para aportar información al proceso de capacitación.

3.107. Las necesidades y los objetivos de capacitación deberían especificarse de manera oportuna, preferiblemente ya en la fase de elaboración del programa de gestión de accidentes. El programa de capacitación debería establecerse antes de que se aplique el programa de gestión de accidentes. Conviene elaborar todo el material de capacitación aplicando un enfoque de capacitación bien definido. En las Referencias [18, 19] se ofrecen más detalles sobre la capacitación específica para la gestión de accidentes.

3.108. Debería establecerse la capacitación inicial así como cursos de repaso. Conviene realizar los cursos de repaso a intervalos regulares compatibles con el programa de capacitación general de la central. Debería definirse un intervalo

de tiempo máximo para los cursos de repaso; según los resultados de los ejercicios y prácticas realizados en la central, podrá seleccionarse un intervalo más breve.

3.109. Los ejercicios y prácticas deberían basarse en escenarios apropiados que requieran la aplicación de un número considerable de procedimientos y directrices. Los resultados de los ejercicios y prácticas deberían incorporarse en el programa de capacitación y, en su caso, en los procedimientos y directrices así como en los aspectos normativos de la gestión de accidentes.

3.110. La eficacia de un ejercicio no debería juzgarse atendiendo a la manera en que el grupo responsable pudo recuperar el control de la central, sino a la forma en que las personas pudieron comprender y dar seguimiento a los sucesos en la central, pudieron manejar las complicaciones y sucesos imprevistos de modo controlado, pudieron tomar decisiones sensatas e iniciaron una serie de medidas bien fundamentadas.

## PROCESAMIENTO DE NUEVA INFORMACIÓN

3.111. Para cualquier cambio que vaya a efectuarse en la configuración de la central debería comprobarse su efecto en los EOP y las SAMG, así como en los aspectos normativos de la gestión de accidentes. Debería efectuarse una revisión de los documentos si se detecta algún efecto en estos procedimientos y directrices.

3.112. Después de revisar la documentación de antecedentes utilizada en la elaboración de los procedimientos y directrices conviene verificar si resulta necesaria la revisión de estos. Un ejemplo es una central que ha basado sus procedimientos y directrices en un diseño de referencia o en alguna otra fuente genérica de información, cuando el iniciador de los procedimientos y directrices sobre las cuestiones del diseño de referencia publique una revisión del programa de gestión de accidentes. Otro ejemplo es una actualización del APS en que se determinen nuevas secuencias de accidentes que no formaron parte de la base de las orientaciones vigentes para la gestión de accidentes.

3.113. Conviene seguir de cerca las investigaciones internacionales sobre fenómenos de accidentes muy graves y procesar la nueva información en consecuencia en el programa de gestión de accidentes.

3.114. El intercambio de información con homólogos debería utilizarse para mejorar las SAMG con vistas a su futura revisión. Ese intercambio de información

podría consistir en la observación por los homólogos de las prácticas de la central y la participación en los ejercicios de otras centrales.

## ANÁLISIS DE APOYO

3.115. El análisis de una posible secuencia de accidentes que sobrepasen a los de base de diseño o una secuencia de accidentes muy graves suele tener uno de los objetivos siguientes: 1) formulación de la base técnica<sup>50</sup> para la elaboración de estrategias, procedimientos u orientaciones; 2) demostración de la aceptabilidad de las soluciones de diseño para apoyar las estrategias, los procedimientos y las directrices seleccionados de conformidad con los criterios establecidos; o 3) determinación de los términos fuente de referencia para los planes de emergencia. Aunque el enfoque básico (el uso del análisis de mejor estimación) es el mismo para los tres objetivos, el alcance y las hipótesis para varias aplicaciones del análisis serán diferentes para cada objetivo. Las etapas posteriores del análisis tienen la finalidad de proporcionar únicamente apoyo analítico para la gestión del accidente.

3.116. Para elaborar los documentos de base técnica con miras al programa de gestión de accidentes debería analizarse una diversidad de secuencias de accidentes.

3.117. En la primera etapa del análisis de un accidente potencial que sobrepase al de base de diseño o de una secuencia de accidentes muy graves, debería analizarse un conjunto de secuencias que, sin la intervención del operador en el accidente que sobrepase al de base de diseño o el accidente muy grave, provoque daños al núcleo y posibles riesgos ulteriores para las barreras de productos de fisión. Siguiendo las observaciones generales que figuran en los párrafos 3.1 a 3.4 de la presente guía de seguridad, debería tomarse en consideración el conjunto completo de secuencias de daños al núcleo definido normalmente en el APS, si está disponible. La selección de secuencias que, sin intervención, provocan daños al núcleo es un medio apropiado para definir escenarios de accidente con vista a la investigación posterior de las medidas preventivas (antes de que se produzcan daños al núcleo) y las medidas mitigadoras (después que se produzcan daños al núcleo).

---

<sup>50</sup> La base técnica incluye análisis, evaluaciones, valoraciones y el dictamen técnico.



3.118. Asimismo, en la elaboración de estrategias para la gestión de accidentes muy graves deberían tenerse en cuenta las condiciones de accidente muy graves debidas a errores del operador imperantes antes de que se produzcan daños al núcleo. Las condiciones de accidente muy graves pueden ser consecuencia de errores de omisión o de errores de comisión del operador.

3.119. Conviene elegir un método para seleccionar las secuencias o clases de secuencias de accidentes que se habrán de analizar, ya que el número de secuencias que pueden llevar en potencia a la emisión de productos de fisión al medio ambiente es prácticamente ilimitado. El sistema de categorización de secuencias de accidentes normalmente se basa en varios indicadores del estado de la central, como grupos de sucesos iniciadores, situación de la refrigeración de emergencia del núcleo, situación del sumidero de calor secundario, y situación de la extracción de calor de la contención y la barrera de contención.

3.120. No obstante, cada sistema de categorización debería llevar a la elaboración de una lista de grupos de secuencias de accidentes con miras a hacer frente al comportamiento de la central y la respuesta, incluso la degradación y fusión del núcleo, el fallo de la vasija del reactor y el fallo de la barrera de contención, así como los fenómenos de accidentes muy graves conexos. Se pueden concebir distintos sistemas de categorización<sup>51</sup>. Un APS de nivel 2 típico también debe contener ese tipo de sistema de categorización.

3.121. La selección de secuencias de accidentes debería realizarse en las tres etapas siguientes:

- 1) Deberían elaborarse un enfoque de categorización y un conjunto de estados de daño adecuados. En el anexo se resume un método para lograrlo.
- 2) La lista completa de estados de daño debería examinarse para definir un conjunto limitado, teniendo en cuenta la contribución a la frecuencia de daño al núcleo y asegurando que todos los iniciadores estén representados.
- 3) Deberían seleccionarse una o más secuencias de accidentes por estado de daños elegido, teniendo en cuenta la contribución total a la frecuencia de daño al núcleo, la capacidad de la secuencia seleccionada para representar otras secuencias en el mismo estado de daños y la flexibilidad de la secuencia seleccionada para incorporar las medidas preventivas de gestión de accidentes.

---

<sup>51</sup> En las referencias [20 a 23] se señalan ejemplos de sistemas de categorización.

3.122. En la segunda etapa del análisis de un accidente potencial que sobrepase al de base de diseño o de una secuencia de accidentes muy graves, debería investigarse la eficacia de las estrategias propuestas y sus consecuencias negativas potenciales<sup>52</sup>. El análisis realizado durante esta etapa también debería servir de apoyo para la elaboración de los procedimientos y directrices reales, ya que es necesario determinar los puntos de ajuste correctos para iniciar, acelerar o finalizar las acciones. Deberían investigarse la disponibilidad y funcionalidad potenciales del equipo y la instrumentación, así como la habitabilidad de los lugares de trabajo en las condiciones de accidente imperantes.

3.123. En la tercera etapa del análisis de un accidente potencial que sobrepase al de base de diseño o una secuencia de accidentes muy graves, una vez que se hayan elaborado los procedimientos y directrices, estos deberían verificarse y validarse, como se indica en los párrafos 3.99 a 3.103. Para la validación se requiere la elaboración de escenarios adecuados. El análisis resulta necesario para determinar la evolución del accidente y los varios fenómenos a los que deben responder los operadores y el centro de apoyo técnico.

3.124. Si se dispone de una base técnica genérica, esta puede utilizarse para obtener la información mencionada en las etapas 1) a 3) del párrafo 3.121, siempre que se adapte a la central específica en cuestión.

3.125. Por lo general, el análisis debería ser semejante al análisis de mejor estimación, ya que es importante mantener el mejor cuadro físico disponible de la respuesta de la central. Los cálculos de mejor estimación suelen proporcionar la media o el valor medio de una posible gama de valores. De ahí que sea conveniente tomar debidamente en consideración las incertidumbres para determinar el momento y la gravedad de los fenómenos. También deberían considerarse las incertidumbres en la comprensión de los fenómenos que pueden ocurrir tanto en la progresión del accidente (p.ej., la expulsión del fundido a alta presión) como en la fase de recuperación (p.ej., la generación de vapor e hidrógeno como resultado de la adición de agua a un núcleo sobrecalentado).

---

<sup>52</sup> Por ejemplo, el aporte y purga puede ser una contramedida eficaz en el caso de la pérdida de extracción de calor residual por las vías normales, pero a veces solo es eficaz en determinado intervalo de tiempo. Otro ejemplo en el ámbito de los accidentes muy graves es el reinicio de una bomba de refrigerante del reactor, que aunque puede resultar muy beneficioso al principio de un accidente, puede aumentar considerablemente el riesgo de rotura por fluencia del tubo del generador de vapor si se hace más tarde.

3.126. Conviene validar en la mayor medida posible los códigos informáticos utilizados para el análisis. No obstante, hay que señalar que muchos códigos empleados en el accidente que sobrepasa al de base de diseño y el accidente muy grave no pueden someterse al mismo nivel de validación que los códigos utilizados en el accidente base de diseño,<sup>53</sup> debido a la incertidumbre en la comprensión de los fenómenos. Por lo general ningún código puede bastar por sí solo para toda la gama de fenómenos y tal vez se requieran códigos para fines especiales. Es aconsejable que la entidad explotadora de la central especifique los códigos y modelos adecuados para las varias aplicaciones, y justifique su uso. Cuando proceda, la entidad explotadora de la central debería llevar a cabo un análisis de sensibilidad, además del análisis de incertidumbres, para determinar el peso relativo de ciertos fenómenos comparados con otros.

3.127. Conviene interpretar los resultados de los códigos informáticos teniendo en cuenta las limitaciones e incertidumbres de los modelos. Deberían utilizarse códigos mecánicos cuando las limitaciones de los códigos impidan la consecución de resultados fiables. Es aconsejable evaluar e interpretar todos los resultados de los códigos teniendo debidamente en cuenta sus limitaciones y las incertidumbres conexas. Por ejemplo, muchos códigos tienen correlaciones fijas de transferencia de calor (p.ej., flujo crítico de calor en una placa plana) basadas en una supuesta geometría, mientras que el suceso real puede entrañar cambios geométricos (p.ej., la desintegración de los residuos del núcleo) que produzcan varias superficies de transferencia de calor que mejoren o degraden la transferencia de calor y, por tanto, influyan en las temperaturas reales alcanzadas.

3.128. Además del análisis de los accidentes con respecto a la neutróica, la termohidráulica, la degradación del núcleo, etc., conviene realizar el análisis estructural para los fenómenos relacionados con las cargas mecánicas<sup>54</sup>.

---

<sup>53</sup> Por ejemplo, todos los expertos en la materia no están de acuerdo con respecto a la capacidad de refrigeración de los residuos del núcleo fuera de la vasija para varios escenarios posibles; sin embargo, la mayoría de los códigos de simulación contienen modelos que predicen la capacidad o la no capacidad de refrigeración para cada escenario. Así, no existe ninguna base sobre la cual puedan verificarse los modelos de código.

<sup>54</sup> Por ejemplo, si se calcula que puede producirse la combustión de hidrógeno, es aconsejable calcular las cargas de combustión e investigar si la contención u otras estructuras de interés soportarán las cargas. A menudo la capacidad de las estructuras para absorber las cargas se presenta como una curva de fragilidad indicativa de una probabilidad de fallo.

3.129. Se debería realizar un análisis con objeto de investigar la eficacia de las orientaciones sobre la gestión de accidentes y, cuando sea viable, la reducción conexas de los riesgos en la central (véase el párrafo 3.6). El análisis debería utilizarse también para demostrar que pueden mitigarse los escenarios dominantes.

## SISTEMA DE GESTIÓN

3.130. El programa de gestión de accidentes debería elaborarse sobre la base de los requisitos de seguridad del OIEA aplicables y de las orientaciones sobre este tema [24, 25]. Cuando no pueda recurrirse a estos a causa de las incertidumbres que existen en relación con los accidentes muy graves, debería seguirse la intención de los requisitos de seguridad en la mayor medida posible.

## Apéndice

### USO PRÁCTICO DE LAS SAMG<sup>55</sup>

A.1. Una vez que el personal de la sala de control principal, mientras ejecute los EOP, haya llegado al punto de comienzo de las SAMG o el director de emergencias haya determinado que las SAMG deberían aplicarse, o el punto de comienzo de las SAMG se alcance por alguna otra base especificada (párrafo 3.40), debería efectuarse la transición del ámbito de los EOP al de las SAMG. El personal de la sala de control principal debería iniciar acciones con arreglo a las SAMG aplicables hasta que la responsabilidad inherente a la recomendación de acciones pase al centro de apoyo técnico. Esto tiene lugar cuando el centro de apoyo técnico está operativo<sup>56</sup>, es informado de los hechos, ha evaluado la situación de la central y está listo para dar su primera recomendación o decisión sobre la ejecución de una SAMG. El personal de la sala de control principal debería seguir realizando las acciones ya iniciadas en relación con los EOP siempre que sean compatibles con las “normas de uso” (párrafo 3.56).

A.2. El centro de apoyo técnico debería consultar el diagrama lógico (párrafo 3.34) a intervalos regulares, a medida que progresa el accidente, teniendo en cuenta qué prioridades con respecto a las medidas mitigadoras pudieran cambiar en consecuencia. Es aconsejable que el centro de apoyo técnico presente las recomendaciones por escrito al encargado de adoptar decisiones, quien decidirá las acciones que habrá que emprender.

A.3. Conviene que las decisiones sobre las acciones que se habrán de poner en marcha se comuniquen al personal de la sala de control por escrito o por un método equivalente que evite malentendidos. El personal de la sala de control principal debería confirmar las acciones que se supone que realice y notificar los progresos de las acciones realizadas así como el efecto que han tenido en la central. La comunicación oral (telefónica) con el personal de la sala de control debería correr a cargo de un funcionario del centro de apoyo técnico que posea licencia de operador.

---

<sup>55</sup> Aunque el apéndice contiene algunos elementos que se abordan en algunas otras partes de la presente guía de seguridad, esos elementos se repiten aquí para aclarar el proceso de trabajo con las SAMG.

<sup>56</sup> Esto significa que el centro de apoyo técnico se ha establecido y ha comenzado a funcionar de conformidad con sus procedimientos de trabajo.

A.4. Conviene mostrar los parámetros de la central en un tablero de pared u otro medio de visualización ubicado en el centro de apoyo técnico, donde deberían anotarse y registrarse las tendencias. En ese lugar también deberían registrarse las acciones realizadas así como otra información de interés, como el EOP o la SAMG aplicable en el momento, las alertas de emergencia de la central y las emisiones previstas de material radiactivo.

A.5. Es aconsejable que el centro de apoyo técnico calcule a intervalos regulares el momento y la magnitud de posibles emisiones en el futuro, y comunique estos a la entidad de respuesta a emergencias. Esas emisiones podrán determinarse consultando el APS de la central y deduciendo los escenarios correspondientes mediante la interpretación de los parámetros de la central. Otra posibilidad sería aplicar códigos informáticos de lectura rápida para analizar escenarios percibidos y su evolución más probable en el futuro.

A.6. El director de emergencias, con el asesoramiento del centro de apoyo técnico, debería asegurarse de que es consciente de las grandes incertidumbres asociadas con el proceso de estimación de posibles emisiones, e indicarlas en sus declaraciones al público sobre las posibles emisiones.

A.7. Las actividades del centro de apoyo técnico deberían estar bien estructuradas. Conviene que los miembros del personal del centro de apoyo técnico reciba una clara descripción de sus tareas. El centro de apoyo técnico debería reunirse a intervalos regulares (p.ej., cada 30 minutos) y dejar suficiente tiempo para que cada uno de los miembros del personal efectúe su análisis entre esas sesiones periódicas.

A.8. El centro de apoyo técnico debería consultar con fuentes externas cuando sus planes interfieran en las acciones previstas por el personal de la entidad de respuesta a emergencias. Mediante esas consultas debería asegurarse de que las emisiones previstas se correspondan con los niveles de preparación fuera del emplazamiento y, posiblemente, los momentos previstos para esas emisiones deberían trasladarse a otros que correspondan mejor con los niveles de preparación fuera del emplazamiento<sup>57</sup>. Otra posibilidad sería retrasar las emisiones para otro momento posterior, si ese cambio es compatible con las acciones previstas para la gestión de accidentes muy graves.

---

<sup>57</sup> Por ejemplo, si se prevé una emisión en particular para determinado momento, el personal que aplique el plan de emergencia debería ser informado de modo que pueda adoptar medidas apropiadas para proteger la vida y los bienes del personal de la central y el público general.

A.9. Debería establecerse un mecanismo para asignar prioridades en caso de conflicto entre las emisiones previstas y la protección brindada fuera del emplazamiento mediante las disposiciones de emergencia. En principio, es aconsejable asignar prioridad a las acciones que impidan daños importantes a la última barrera de productos de fisión todavía intacta. Por ejemplo, la prevención de un gran fallo de contención debería tener prioridad sobre el retraso de las emisiones previstas.

A.10. Por lo general, el proceso de adopción de decisiones comprende el examen de posibles acciones y alternativas y en él se tienen en cuenta las posibilidades de restaurar los sistemas para ponerlos nuevamente en servicio (es decir, mediante reparaciones), las consecuencias de posibles emisiones, etc. Sin embargo, en los escenarios de rápida evolución tal vez no haya tiempo para tener en cuenta todos estos aspectos (véase también el párrafo 3.29). Por consiguiente, al especificar el proceso para la adopción de decisiones conviene tomar en consideración el hecho de que tal vez las decisiones tengan que adoptarse en muy poco tiempo. Un principio básico es garantizar que el proceso de adopción de decisiones siempre esté en proporción al tiempo de evolución del accidente<sup>58</sup>.

---

<sup>58</sup> En algunos enfoques esto se soluciona desestimando los posibles aspectos negativos de las acciones previstas cuando existen riesgos inmediatos para las barreras de productos de fisión.





## REFERENCIAS

- [1] AGENCIA PARA LA ENERGÍA NUCLEAR DE LA OCDE, COMUNIDAD EUROPEA DE LA ENERGÍA ATÓMICA, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO, ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE, Principios fundamentales de seguridad, *Colección de Normas de Seguridad del OIEA* N° SF-1, OIEA, Viena (2007).
- [2] INTERNATIONAL NUCLEAR SAFETY ADVISORY GROUP, La defensa en profundidad en seguridad nuclear, INSAG-10, OIEA, Viena (1997).
- [3] GRUPO INTERNACIONAL ASESOR EN SEGURIDAD NUCLEAR, Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants, 75-INSAG-3 Rev. 1, INSAG-12, OIEA, Viena (1999).
- [4] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Glosario de Seguridad Tecnológica del OIEA – Terminología empleada en seguridad tecnológica nuclear y protección radiológica, Edición de 2007, OIEA, Viena (2008).
- [5] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Seguridad de las centrales nucleares: Diseño, *Colección de Normas de Seguridad del OIEA* N° NS-R-1, OIEA, Viena (2004).
- [6] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Seguridad de las centrales nucleares: Explotación, *Colección de Normas de Seguridad del OIEA* N° NS-R-2, OIEA, Viena (2004).
- [7] 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, OIEA, Viena (2010).
- [8] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Evaluación y verificación de la seguridad de las centrales nucleares, *Colección de Normas de Seguridad del OIEA* N° NS-G-1.2, OIEA, Viena (2009).
- [9] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Design of Reactor Containment Systems for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-1.10, IAEA, Viena (2004).
- [10] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Límites y condiciones operacionales y procedimientos de operación en las centrales nucleares, *Colección de Normas de Seguridad del OIEA* N° NS-G-2.2, OIEA, Viena (2009).
- [11] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Development and Review of Plant Specific Emergency Operating Procedures, Safety Reports Series No. 48, IAEA, Viena (2006).
- [12] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Implementation of Accident Management Programmes in Nuclear Power Plants, Safety Reports Series No. 32, IAEA, Viena (2004).

- [13] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Guidelines for the Review of Accident Management Programmes in Nuclear Power Plants, IAEA Services Series No. 9, IAEA, Vienna (2003).
- [14] AGENCIA PARA LA ENERGÍA NUCLEAR DE LA OCDE, OFICINA DE COORDINACIÓN DE ASUNTOS HUMANITARIOS DE LAS NACIONES UNIDAS, 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, Preparación y respuesta a situaciones de emergencia nuclear o radiológica, *Colección de Normas de Seguridad del OIEA* N° GS-R-2, OIEA, Viena (2004).
- [15] ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, Severe Accident Management Guidance Technical Basis Report, Vols 1 and 2, TR-101869-V1 and TR-101869-V2, EPRI, Palo Alto, CA (1992).
- [16] INSTITUTE OF NUCLEAR POWER OPERATIONS, Emergency Operating Procedures Writing Guideline, INP0 82-017, INPO, Atlanta, GA (1982).
- [17] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Experience in the Use of Systematic Approach to Training (SAT) for Nuclear Power Plant Personnel, IAEA-TECDOC-1057, IAEA, Vienna (1998).
- [18] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Application of Simulation Techniques for Accident Management Training in Nuclear Power Plants, IAEA-TECDOC-1352, IAEA, Vienna (2003).
- [19] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Overview of Training Methodology for Accident Management at Nuclear Power Plants, IAEA-TECDOC-1440, IAEA, Vienna (2005).
- [20] CHEXAL, B., et al., “Update on the technical basis for the Severe Accident Management Guidelines”, Severe Accident Management Implementation (Proc. Specialist Mtg Niantic, CT, 1995), Rep. OECD/NEA/CSNI/R(95)5, OECD, Paris (1995).
- [21] SAUVAGE, E.C., et al., “OSSA — An optimized approach to severe accident management: EPR application”, Proc. ICAPP’06, Reno, NV (2006).
- [22] NUCLEAR ENERGY INSTITUTE, Severe Accident Issue Closure Guidelines, NEI 91-04, Rev. 1, NEI, Washington, DC (1994).
- [23] NUCLEAR ENERGY INSTITUTE, Methodology for Development of Emergency Action Levels, NEI 99-01, Rev. 4, NEI, Washington, DC (2003).
- [24] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Sistema de gestión de instalaciones y actividades, *Colección de Normas de Seguridad del OIEA* N° GS-R-3, OIEA, Viena (2011).
- [25] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Application of the Management System for Facilities and Activities, IAEA Safety Standards Series No. GS-G-3.1, IAEA, Vienna (2006).
- [26] LUTZ, R., et al., “Westinghouse Owners Group approach to severe accident management”, Severe Accident Management Implementation (Proc. Specialist Mtg, Niantic, CT, 1995), Rep. OECD/NEA/CSNI/R(95)5, OECD, Paris (1995).

- [27] VAYSSIER, G., et al., SAMIME — Concerted Action on Severe Accident Management and Expertise in the EU, Final Report, AMM-SAMIME (00) – P009, European Commission, Luxembourg (2000).



## Anexo

### EJEMPLO DE UN SISTEMA DE CATEGORIZACIÓN DE SECUENCIAS DE ACCIDENTES

A-1. Al inicio se seleccionarán todas las secuencias de accidentes que, a falta de medidas preventivas de gestión de accidentes, puedan causar daños al núcleo. Esta amplia clase de accidentes suele determinarse a base de los resultados de un APS de nivel 1. Todas las secuencias de accidentes que lleven a condiciones de daño al núcleo revisten interés en principio. Debido a su número elevado, esta clase de accidentes debe subdividirse en grupos caracterizados por estados de daño al núcleo, de los cuales cada uno puede caracterizarse por una secuencia representativa de accidentes. Así, un objetivo de la clasificación consiste en seleccionar atributos y valores adecuados de modo que los sucesos que ocasionen daños al núcleo se subdividan de manera apropiada. De esta forma se garantiza que los accidentes incluidos en un grupo puedan representarse razonablemente por una secuencia única sin crear un número de grupos excesivo e inmanejable.

A-2. Se propone utilizar tres indicadores de estados de daño al núcleo: suceso iniciador, estado de refrigeración de emergencia del núcleo y estado del sumidero de calor secundario. En el cuadro A-1 figura un ejemplo de definición del estado de daño al núcleo.

A-3. Cabe señalar que no todas las combinaciones de valores para cada uno de los tres atributos son significativas y debería tenerse cuidado en la selección de una matriz correcta de estados de daño al núcleo. Para el ejemplo de categorización que figura en el cuadro A-1, el número de estados significativos de daño al núcleo sería 29 (véase el cuadro A-2).

A-4. La mayoría de las centrales nucleares han concluido el APS de nivel 1, de manera que se dispondrá en general de suficiente información para seleccionar las categorías de secuencias de accidentes, que posteriormente se analizan para determinar el comportamiento de la central hasta que se produzca el daño al núcleo.

A-5. Los resultados de estos análisis sirven de base para especificar las acciones del operador así como el equipo necesario (disponible o adicional) para hacer frente al accidente. Esta parte del proceso lleva finalmente a la elaboración y aplicación de directrices de respuesta a emergencias (para grupos de centrales) y de EOP específicos para la central.

CUADRO A-1. EJEMPLO DE UN SISTEMA DE CATEGORIZACIÓN

Atributos	Posibles valores	Símbolos
Suceso iniciador	Accidente con poca pérdida de refrigerante	S
	Accidente con pérdida media de refrigerante	M
	Accidente con pérdida importante de refrigerante	A
	Rotura del tubo del generador de vapor	W
	Rotura secundaria	T <sub>S</sub>
	Pérdida completa de corriente alterna	T <sub>B</sub>
	Transitorio previsto sin parada de emergencia	T <sub>A</sub>
	Transitorio	T
Situación del sistema de refrigeración de emergencia del núcleo	Fallo total	1
	Inyección a alta presión satisfactoria, fallo de extracción a alta presión	2
	Inyección a alta presión satisfactoria, extracción a alta presión satisfactoria	3
	Inyección a baja presión satisfactoria, fallo de extracción a baja presión	4
	Inyección a baja presión satisfactoria, extracción a baja presión satisfactoria	5
Situación del sumidero de calor secundario	Fallo	F
	Situación satisfactoria	S

A-6. Aunque la existencia de un APS de nivel 1 para la central ciertamente es un requisito indispensable para la selección de categorías de secuencias de accidentes, hay otras formas de complementar el proceso de selección como:

- la investigación de fenómenos de accidentes muy graves;
- la realización de estudios y análisis genéricos de centrales (de referencia) similares;
- el estudio de la experiencia operacional y de precursores de accidentes;
- el examen de los procedimientos existentes;
- la evaluación de la instrumentación existente y su capacidad así como sus limitaciones en las condiciones ambientales de un accidente muy grave.

A-7. La situación de los sistemas de contención y la barrera de contención es importante en la etapa siguiente, que entraña la definición de categorías de secuencias de accidentes para la investigación de las medidas mitigadoras de gestión de accidentes. Por ello se entiende la mitigación de las consecuencias del daño al núcleo si este ocurre y, en particular, el control y minimización de cualquier emisión de productos de fisión. La situación de sistemas

CUADRO A-2. EJEMPLO DE UNA MATRIZ DE ESTADOS DE DAÑO AL NÚCLEO

Iniciadores	Situación de la refrigeración de emergencia del núcleo	Situación del sumidero de calor
S	1	F S
	2	F S
	3	F S
M	1	X
	2	X
A	1	X
	4	X
W	1	F S
	2	F S
	3	F S
T <sub>S</sub>	1	F S
	2	F S
	3	F S
T <sub>B</sub> (equivalente a T1F)	X	X
T <sub>A</sub>	1	F S
	2	F S
	3	F S
T	1	F
	2	F
	3	F

**Nota:** X indica que el atributo no reviste interés para esa combinación en particular y puede tomar cualquier valor asignado.

de contención como los sistemas de aspersión y la respuesta de la contención a las cargas impuestas por un accidente muy grave resultan importantes y deben incluirse en la definición de las categorías de secuencias de accidentes para la gestión de la mitigación de accidentes.

A-8. Para seleccionar y evaluar las secuencias de accidentes que pudieran provocar estados de daño al núcleo y finalmente el daño a la contención y la emisión de productos de fisión al medio ambiente, sería conveniente realizar un APS de nivel 2 con el fin de cuantificar los estados de daño a la contención y la contribución a riesgos de determinadas categorías de secuencias de accidentes. Aun cuando no se haya concluido un APS de nivel 2 para la central, o cuando no exista en absoluto, hay métodos para seleccionar las categorías de secuencias que contribuyen considerablemente a los riesgos en la central. Entre esos métodos figura el examen sistemático de los sistemas de contención y de la respuesta de la contención a accidentes muy graves, que comprende, por ejemplo:

- la determinación de los sistemas de contención importantes para impedir la emisión de productos de fisión y su posible situación en caso de un accidente muy grave; este proceso ampliaría las definiciones de los estados de daño al núcleo para abarcar las definiciones de los estados de daño a la central;
- la determinación de modos de fallo de contención importantes y de fenómenos de accidentes muy graves que pueden influir en estos.

A-9. También pueden utilizarse otros dos atributos para ampliar las definiciones de los estados de daño al núcleo a fin de abarcar las definiciones de los estados de daño a la central: la situación de la extracción de calor de la contención y la situación de la barrera de contención, como se reseña en el cuadro A-3.

A-10. El análisis de las secuencias de accidentes y las acciones conexas del operador llevará a la elaboración de SAMG genéricas y con el tiempo de SAMG específicas para la central.



CUADRO A-3. EJEMPLO DE UNA DEFINICIÓN DE UN ESTADO DE DAÑO A LA CONTENCIÓN

Atributos	Posibles valores	Símbolos
Situación de extracción de calor de la contención	Fallo	F
	Satisfactoria (el sistema de aspersión, la inyección a alta presión o la inyección a baja presión funcionan en modo de recirculación). Si el sistema de refrigeración de emergencia del núcleo tiene el valor de 3 o 5 (véase el cuadro A-1), la situación de la extracción de calor de la contención es S.	S
Situación de la barrera de contención	Aislamiento satisfactorio, fuga normal	S
	Fallo de aislamiento	I
	Derivación	B

A-11. El proceso mencionado en los párrafos A-1 a A-10 es de carácter genérico y tendrán que seleccionarse las secuencias de accidentes que contribuyen considerablemente a riesgos para someterlas a un análisis pormenorizado. Ello entraña lo siguiente:

- la determinación de las secuencias de accidentes que contribuyen considerablemente a riesgos;
- la demostración de que la secuencia de accidentes elegida representa otras secuencias que originan el mismo estado de daño a la central;
- la definición de las acciones fundamentales del operador;
- la demostración de que la secuencia de accidentes elegida es susceptible a las medidas preventivas y mitigadoras de gestión de accidentes.

A-12. El APS formalizado de nivel 2 concluido contendrá todos los análisis necesarios de un accidente muy grave. A falta de un APS de nivel 2, será preciso conocer por otros medios las posibles vulnerabilidades a los accidentes muy graves mediante la realización de análisis. Para determinar qué fenómenos de accidentes muy graves son importantes, es necesario elaborar una lista de riesgos potenciales para las barreras de productos de fisión utilizando los resultados de los análisis de secuencias de accidentes sin la intervención del operador. En el cuadro A-4 se presenta un ejemplo.

#### CUADRO A-4. EJEMPLO DE FENÓMENOS DE ACCIDENTES MUY GRAVES QUE PUEDEN PLANTEAR RIESGOS IMPORTANTES PARA LAS BARRERAS DE PRODUCTOS DE FISIÓN

Modo de fallo de la contención	Secuencias de accidentes aplicables	Fenómenos conexos	Medidas mitigadoras
Fallo inicial – combustión de hidrógeno	Inyección de agua en un núcleo sobrecalentado	Deflagración Aceleración de llamas Transición de la deflagración a la detonación Detonación directa	Mantener el núcleo dentro de la vasija (reducir el hidrógeno) Enfriar los residuos fuera de la vasija (reducir el hidrógeno) Controlar el hidrógeno en la contención
Fallo inicial – expulsión de fundido a alta presión	Alta presión en el sistema de refrigeración del reactor ante fallo de la vasija del reactor	Sobrepresión del pozo del reactor o de las puertas de acceso a la cavidad Estallido de la vasija Calentamiento directo de la contención/dispersión de residuos	Impedir el fallo de la vasija a alta temperatura (p.ej., descompresión del circuito primario)
Fallo inicial – fallo de penetración	Alta presión en el sistema de refrigeración del reactor ante fallo de la vasija del reactor	Proyección de residuos contra las puertas de acceso a la cavidad Fallo por sobrecalentamiento de las penetraciones	Impedir que residuos a alta temperatura se proyecten contra el hormigón o las puertas de acceso a la cavidad

CUADRO A-4. EJEMPLO DE FENÓMENOS DE ACCIDENTES MUY GRAVES QUE PUEDEN PLANTEAR RIESGOS IMPORTANTES PARA LAS BARRERAS DE PRODUCTOS DE FISIÓN (cont.)

Modo de fallo de la contención	Secuencias de accidentes aplicables	Fenómenos conexos	Medidas mitigadoras
Fallo tardío – sobrepresión	Fallo de sumideros de calor activos en la contención, como sistema de aspersión de la contención, ventiladores de enfriamiento de la contención y torres de burbujeo	Generación de vapor de residuos fuera de la vasija Generación de gas y vapor no condensables a partir de la interacción núcleo fundido-hormigón	Reducir la presión condensando o venteando el vapor
Fallo tardío — penetración de la placa base	Fallo de la inundación de la contención para proporcionar agua a fin de enfriar los residuos del núcleo fuera de la vasija; o fallo de la inundación de la cavidad del reactor antes del fallo de la vasija del reactor (depende de las posibilidades de enfriamiento)	Interacción a largo plazo núcleo fundido-hormigón	Impedir la interacción núcleo fundido-hormigón
Derivación de la contención	Rotura del tubo del generador de vapor o accidente con pérdida de refrigerante entre sistemas		Recuperar los productos de fisión del aislamiento o lavado

CUADRO A-4. EJEMPLO DE FENÓMENOS DE ACCIDENTES MUY GRAVES QUE PUEDEN PLANTEAR RIESGOS IMPORTANTES PARA LAS BARRERAS DE PRODUCTOS DE FISIÓN (cont.)

Modo de fallo de la contención	Secuencias de accidentes aplicables	Fenómenos conexos	Medidas mitigadoras
Derivación de la contención (inducida)	Alta presión en el sistema de refrigeración del reactor y el generador de vapor seco	Fallo inducido de los tubos mediante el calentamiento de los tubos debido a la recirculación natural en el sistema de refrigeración del reactor	Proteger los tubos del generador de vapor (p.ej., rellenar el generador de vapor)
Fallo del aislamiento de la contención	Mal funcionamiento del sistema de aislamiento de la contención		Recuperar los productos de fisión del aislamiento o lavado

## COLABORADORES EN LA PREPARACIÓN Y REVISIÓN

Aeberli, W.	Central nuclear Beznau (Suiza)
Gustavsson, V.	SwedPower AB (Suecia)
Kersting, E.	Sociedad para la Seguridad de Instalaciones y Reactores (Alemania)
Lee, S.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Lutz, R.J., Jr.	Westinghouse Electric Corporation (Estados Unidos de América)
Lundström, P.	Fortum Nuclear Services (Finlandia)
Misak, J.	Instituto de Investigaciones Nucleares (República Checa)
Prior, R.	ArevaP (Francia)
Réocreux, M.	Instituto de Radioprotección y Seguridad Nuclear (Francia)
Sonnenkalb, M.	Sociedad para la Seguridad de Instalaciones y Reactores (Alemania)
Vayssier, G.L.C.M.	Nuclear Services Corporation (Países Bajos)



## ENTIDADES ENCARGADAS DE LA APROBACIÓN DE LAS NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA

*El asterisco indica que se trata de un miembro corresponsal. Estos miembros reciben borradores para formular comentarios, así como otra documentación pero, generalmente, no participan en las reuniones. Dos asteriscos indican un suplente.*

### Comisión sobre Normas de Seguridad

*Alemania: Majer, D.; Argentina: González, A. J.; Australia: Loy, J.; Bélgica: Samain, J.-P.; Brasil: Vinhas, L. A.; Canadá: Jammal, R.; China: Liu Hua; Corea, República de: Choul-Ho Yun; Egipto: Barakat, M.; España: Barceló Vernet, J.; Estados Unidos de América: Virgilio, M.; Federación de Rusia: Adamchik, S.; Finlandia: Laaksonen, J.; Francia: Lacoste, A.-C. (Presidencia); India: Sharma, S.K.; Israel: Levanon, I.; Japón: Fukushima, A.; Lituania: Maksimovas, G.; Pakistán: Rahman, M.S.; Reino Unido: Weightman, M.; Sudáfrica: Magugumela, M. T.; Suecia: Larsson, C. M.; Ucrania: Mykolaichuk, O.; Viet Nam: Le-chi Dung; Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE: Yoshimura, U.; Comisión Europea: Faross, P.; Comisión Internacional de Protección Radiológica: Holm, L. -E.; Grupo Asesor sobre seguridad física nuclear: Hashmi, J. A.; Grupo Internacional de Seguridad Nuclear: Meserve, R.; OIEA: Delattre, D. (Coordinación); Presidentes de los Comité sobre Normas de Seguridad: Brach, E. W. (TRANSSC); Magnusson, S. (RASSC); Pather, T. (WASSC); Vaughan, G. J. (NUSSC).*

### Comité sobre Normas de Seguridad Nuclear

*Alemania: Wassilew, C.; Argelia: Merrouche, D.; Argentina: Waldman, R.; Australia: Le Cann, G.; Austria: Sholly, S.; Bélgica: De Boeck, B.; Brasil: Gromann, A.; \*Bulgaria: Gledachev, Y.; Canadá: Rzentkowski, G.; China: Jingxi Li; \*Chipre: Demetriades, P.; Corea, República de: HyunKoon Kim; Croacia: Valčić, I.; Egipto: Ibrahim, M.; Eslovaquia: Uhrík, P.; Eslovenia: Vojnovič, D.; España: Zarzuela, J.; Estados Unidos de América: Mayfield, M.; Federación de Rusia: Baranaev, Y.; Finlandia: Järvinen, M.-L.; Francia: Feron, F.; Ghana: Emi-Reynolds, G.; \*Grecia: Camarinopoulos, L.; Hungría: Adorján, F.; India: Vaze, K.; Indonesia: Antariksawan, A.; Irán, República Islámica del: Asgharizadeh, F.; Israel: Hirshfeld, H.; Italia: Bava, G.; Jamahiriya Árabe Libia: Abuzid, O.; Japón: Kanda, T.; Lituania: Demčenko, M.; Malasia:*

Azlina Mohammed Jais; Marruecos: Soufi, I.; México: Carrera, A.; Países Bajos: van der Wiel, L.; Pakistán: Habib, M.A.; Polonia: Jurkowski, M.; Reino Unido: Vaughan, G. J. (Presidencia); República Checa: Šváb, M.; Rumania: Biro, L.; Sudáfrica: Leotwane, W.; Suecia: Hallman, A.; Suiza: Flury, P.; Túnez: Baccouche, S.; Turquía: Bezdegumeli, U.; Ucrania: Shumkova, N.; Uruguay: Nader, A.; Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE: Reig, J.; \*Asociación Nuclear Mundial: Borysova, I.; Comisión Electrotécnica Internacional: Bouard, J.-P.; Comisión Europea: Vigne, S.; FORATOM: Fourest, B.; OIEA: Feige, G. (Coordinación); Organización Internacional de Normalización: Sevestre, B.

### Comité sobre Normas de Seguridad Radiológica

Alemania: Helming, M.; \*Argelia: Chelbani, S.; Argentina: Massera, G.; Australia: Melbourne, A.; \*Austria: Karg, V.; Bélgica: van Bladel, L.; Brasil: Rodriguez Rochedo, E. R.; \*Bulgaria: Katzarska, L.; Canadá: Clement, C.; China: Huating Yang; \*Chipre: Demetriades, P.; Corea, República de: Byung-Soo Lee; Croacia: Kralik, I.; \*Cuba: Betancourt Hernández, L.; Dinamarca: Øhlenschläger, M.; Egipto: Hassib, G.M.; Eslovaquia: Jurina, V.; Eslovenia: Sutej, T.; España: Amor Calvo, I.; Estados Unidos de América: Lewis, R.; Estonia: Lust, M.; Federación de Rusia: Savkin, M.; Filipinas: Valdezco, E.; Finlandia: Markkanen, M.; Francia: Godet, J.-L.; Ghana: Amoako, J.; \*Grecia: Kamenopoulou, V.; Hungría: Koblinger, L.; Islandia: Magnusson, S. (Presidencia); India: Sharma, D. N.; Indonesia: Widodo, S.; Irán, República Islámica del: Kardan, M. R.; Irlanda: Colgan, T.; Israel: Koch, J.; Italia: Bologna, L.; Japón: Kiryu, Y.; \*Jamahiriya Árabe Libia: Busitta, M.; Letonia: Salmins, A.; Lituania: Mastauskas, A.; Malasia: Hamrah, M.A.; Marruecos: Tazi, S.; México: Delgado Guardado, J.; Noruega: Saxebol, G.; Países Bajos: Zuur, C.; Pakistán: Ali, M.; Paraguay: Romero de González, V.; Polonia: Merta, A.; Portugal: Dias de Oliveira, A.M.; Reino Unido: Robinson, I.; República Checa: Petrova, K.; Rumania: Rodna, A.; Sudáfrica: Olivier, J. H. I.; Suecia: Almen, A.; Suiza: Piller, G.; \*Tailandia: Sutarapai, P.; Túnez: Chékir, Z.; Turquía: Okyar, H. B.; Ucrania: Pavlenko, T.; \*Uruguay: Nader, A.; Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE: Lazo, T. E.; Asociación internacional de suministradores y productores de fuentes: Fasten, W.; Asociación Nuclear Mundial: Saint-Pierre, S.; Comisión Electrotécnica Internacional: Thompson, I.; Comisión Europea: Janssens, A.; Comisión Internacional de Protección Radiológica: Valentin, J.; Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas: Crick, M.; Oficina Internacional del Trabajo: Niu, S.; OIEA: Boal, T. (Coordinación); Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la



*Agricultura*: Byron, D.; *Organización Internacional de Normalización*: Rannou, A.; *Organización Mundial de la Salud*: Carr, Z; *Organización Panamericana de la Salud*: Jiménez, P.

### **Comité sobre Normas de Seguridad en el Transporte**

*Alemania*: Rein, H.; \*Nitsche, F.; \*\*Alter, U.; *Argentina*: López Vietri, J.; \*\*Capadona, N. M.; *Australia*: Sarkar, S.; *Austria*: Kirchnawy, F.; *Bélgica*: Cottens, E.; *Brasil*: Xavier, A. M.; *Bulgaria*: Bakalova, A.; *Canadá*: Régimbald, A.; *China*: Xiaoqing Li; \*Chipre: Demetriades, P.; *Corea, República de*: Dae-Hyung Cho; *Croacia*: Belamarić, N.; \*Cuba: Quevedo García, J. R.; *Dinamarca*: Breddam, K.; *Egipto*: El-Shinawy, R. M. K.; *España*: Zamora Martín, F.; *Estados Unidos de América*: Boyle, R.W.; Brach, E.W. (Presidencia); *Federación de Rusia*: Buchelnikov, A. E.; *Finlandia*: Lahkola, A.; *Francia*: Landier, D.; *Ghana*: Emi-Reynolds, G.; \*Grecia: Vogiatzi, S.; *Hungría*: Sáfár, J.; *India*: Agarwal, S. P.; *Indonesia*: Wisnubroto, D.; *Irán, República Islámica del*: Eshraghi, A.; \*Emamjomeh, A.; *Irlanda*: Duffy, J.; *Israel*: Koch, J.; *Italia*: Trivelloni, S.; \*\*Orsini, A.; *Jamahiriyá Árabe Libia*: Kekli, A. T.; *Japón*: Hanaki, I.; *Lituania*: Statkus, V.; *Malasia*: Sobari, M. P. M.; \*\*Husain, Z. A.; \*Marruecos: Allach, A.; México: Bautista Arteaga, D. M.; \*\*Delgado Guardado, J. L.; *Países Bajos*: Ter Morshuizen, M.; \*Nueva Zelandia: Ardouin, C.; *Noruega*: Hornkjøl, S.; *Pakistán*: Rashid, M.; \*Paraguay: More Torres, L. E.; *Polonia*: Dziubiak, T.; *Portugal*: Buxo da Trindade, R.; *Reino Unido*: Sallit, G.; *República Checa*: Ducháček, V.; *Sudáfrica*: Hinrichsen, P.; *Suecia*: Häggblom, E.; \*\*Svahn, B.; *Suiza*: Krietsch, T.; *Tailandia*: Jerachanchai, S.; *Turquía*: Ertürk, K.; *Ucrania*: Lopatin, S.; *Uruguay*: Nader, A.; \*Cabral, W.; *Asociación de Transporte Aéreo Internacional*: Brennan, D.; *Asociación internacional de suministradores y productores de fuentes* : Miller, J. J.; \*\*Roughan, K.; *Asociación Nuclear Mundial*: Gorlin, S.; *Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa*: Kervella, O.; *Comisión Europea*: Binet, J.; *Federación Internacional de Asociaciones de Pilotos de Líneas Aéreas*: Tisdall, A.; \*\*Gessl, M.; *Instituto Mundial de Transporte Nuclear*: Green, L.; *OIEA*: Stewart, J. T. (Coordinación); *Organización de Aviación Civil Internacional*: Rooney, K.; *Organización Internacional de Normalización*: Malesys, P.; *Organización Marítima Internacional*: Rahim, I.; *Unión Postal Universal*: Bowers, D. G.

## Comité sobre Normas de Seguridad de los Desechos

*Alemania*: Götz, C.; *Argelia*: Abdenacer, G.; *Argentina*: Biaggio, A.; *Australia*: Williams, G.; *\*Austria*: Fischer, H.; *Bélgica*: Blommaert, W.; *Brasil*: Tostes, M.; *\*Bulgaria*: Simeonov, G.; *Canadá*: Howard, D.; *China*: Zhimin Qu; *Chipre*: Demetriades, P.; *Corea, República de*: Won-Jae Park; *Croacia*: Trifunovic, D.; *Cuba*: Fernández, A.; *Dinamarca*: Nielsen, C.; *Egipto*: Mohamed, Y.; *Eslovaquia*: Homola, J.; *Eslovenia*: Mele, I.; *España*: Sanz Aludan, M.; *Estados Unidos de América*: Camper, L.; *Estonia*: Lust, M.; *Finlandia*: Hutri, K.; *Francia*: Rieu, J.; *Ghana*: Faanu, A.; *Grecia*: Tzika, F.; *Hungría*: Czoch, I.; *India*: Rana, D.; *Indonesia*: Wisnubroto, D.; *Irán, República Islámica del*: Assadi, M.; *\*Zarghami*, R.; *Iraq*: Abbas, H.; *Israel*: Dody, A.; *Italia*: Dionisi, M.; *Jamahiriyá Árabe Libia*: Elfawares, A.; *Japón*: Matsuo, H.; *\*Letonia*: Salmins, A.; *Lituania*: Paulikas, V.; *Malasia*: Sudin, M.; *\*Marruecos*: Barkouch, R.; *México*: Aguirre Gómez, J.; *Países Bajos*: van der Shaaf, M.; *Pakistán*: Mannan, A.; *\*Paraguay*: Idoyaga Navarro, M.; *Polonia*: Wlodarski, J.; *Portugal*: Flausino de Paiva, M.; *Reino Unido*: Chandler, S.; *República Checa*: Lietava, P.; *Sudáfrica*: Pather, T. (Presidencia); *Suecia*: Frise, L.; *Suiza*: Wanner, H.; *\*Tailandia*: Supaokit, P.; *Túnez*: Bousselmi, M.; *Turquía*: Özdemir, T.; *Ucrania*: Makarovska, O.; *\*Uruguay*: Nader, A.; *Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE*: Riotte, H.; *Asociación internacional de suministradores y productores de fuentes*: Fasten, W.; *Asociación Nuclear Mundial*: Saint-Pierre, S.; *Comisión Europea*: Necheva, C.; *European Nuclear Installations Safety Standards*: Lorenz, B.; *\*Zaiss*, W.; *OIEA*: Siraky, G. (Coordinación); *Organización Internacional de Normalización*: Hutson, G.



# IAEA

Organismo Internacional de Energía Atómica

N° 24

## PEDIDOS DE PUBLICACIONES

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

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

### ALEMANIA

#### ***Goethe Buchhandlung Teubig GmbH***

Schweitzer Fachinformationen

Willstätterstrasse 15, 40549 Düsseldorf, ALEMANIA

Teléfono: +49 (0) 211 49 874 015 • Fax: +49 (0) 211 49 874 28

Correo electrónico: [kundenbetreuung.goethe@schweitzer-online.de](mailto:kundenbetreuung.goethe@schweitzer-online.de) •

Sitio web: <http://www.goethebuch.de>

### BÉLGICA

#### ***Jean de Lannoy***

Avenue du Roi 202, 1190 Bruselas, BÉLGICA

Teléfono: +32 2 5384 308 • Fax: +32 2 5380 841

Correo electrónico: [jean.de.lannoy@euronet.be](mailto:jean.de.lannoy@euronet.be) • Sitio web: <http://www.jean-de-lannoy.be>

### CANADÁ

#### ***Renouf Publishing Co. Ltd.***

20-1010 Polytek Street, Ottawa, ON K1J 9J1, CANADÁ

Teléfono: +1 613 745 2665 • Fax: +1 643 745 7660

Correo electrónico: [order@renoufbooks.com](mailto:order@renoufbooks.com) • Sitio web: <http://www.renoufbooks.com>

#### ***Bernan Associates***

4501 Forbes Blvd., Suite 200, Lanham, MD 20706-4391, ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

Teléfono: +1 800 865 3457 • Fax: +1 800 865 3450

Correo electrónico: [orders@bernan.com](mailto:orders@bernan.com) • Sitio web: <http://www.bernan.com>

### ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

#### ***Bernan Associates***

4501 Forbes Blvd., Suite 200, Lanham, MD 20706-4391, ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

Teléfono: +1 800 865 3457 • Fax: +1 800 865 3450

Correo electrónico: [orders@bernan.com](mailto:orders@bernan.com) • Sitio web: <http://www.bernan.com>

#### ***Renouf Publishing Co. Ltd.***

812 Proctor Avenue, Ogdensburg, NY 13669-2205, ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

Teléfono: +1 888 551 7470 • Fax: +1 888 551 7471

Correo electrónico: [orders@renoufbooks.com](mailto:orders@renoufbooks.com) • Sitio web: <http://www.renoufbooks.com>

### FEDERACIÓN DE RUSIA

#### ***Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety***

107140, Moscú, Malaya Krasnoselskaya st. 2/8, bld. 5, FEDERACIÓN DE RUSIA

Teléfono: +7 499 264 00 03 • Fax: +7 499 264 28 59

Correo electrónico: [secnrs@secnrs.ru](mailto:secnrs@secnrs.ru) • Sitio web: <http://www.secnrs.ru>

### FRANCIA

#### ***Form-Edit***

5 rue Janssen, PO Box 25, 75921 París CEDEX, FRANCIA

Teléfono: +33 1 42 01 49 49 • Fax: +33 1 42 01 90 90

Correo electrónico: [fabien.boucard@formedit.fr](mailto:fabien.boucard@formedit.fr) • Sitio web: <http://www.formedit.fr>

### **Lavoisier SAS**

14 rue de Provigny, 94236 Cachan CEDEX, FRANCIA  
Teléfono: +33 1 47 40 67 00 • Fax: +33 1 47 40 67 02  
Correo electrónico: livres@lavoisier.fr • Sitio web: <http://www.lavoisier.fr>

### **L'Appel du livre**

99 rue de Charonne, 75011 París, FRANCIA  
Teléfono: +33 1 43 07 43 43 • Fax: +33 1 43 07 50 80  
Correo electrónico: livres@appeldulivre.fr • Sitio web: <http://www.appeldulivre.fr>

## **HUNGRÍA**

### **Librotrade Ltd., Book Import**

Pesti ut 237. 1173 Budapest, HUNGRÍA  
Teléfono: +36 1 254-0-269 • Fax: +36 1 254-0-274  
Correo electrónico: books@librotrade.hu • Sitio web: <http://www.librotrade.hu>

## **INDIA**

### **Allied Publishers**

1<sup>st</sup> Floor, Dubash House, 15, J.N. Heredi Marg, Ballard Estate, Bombay 400001, INDIA  
Teléfono: +91 22 4212 6930/31/69 • Fax: +91 22 2261 7928  
Correo electrónico: alliedpl@vsnl.com • Sitio web: <http://www.alliedpublishers.com>

### **Bookwell**

3/79 Nirankari, Delhi 110009, INDIA  
Teléfono: +91 11 2760 1283/4536  
Correo electrónico: bkwell@nde.vsnl.net.in • Sitio web: <http://www.bookwellindia.com/>

## **ITALIA**

### **Libreria Scientifica "AEIOU"**

Via Vincenzo Maria Coronelli 6, 20146 Milán, ITALIA  
Teléfono: +39 02 48 95 45 52 • Fax: +39 02 48 95 45 48  
Correo electrónico: info@libreriaaeiou.eu • Sitio web: <http://www.libreriaaeiou.eu/>

## **JAPÓN**

### **Maruzen-Yushodo Co., Ltd.**

10-10, Yotsuyasakamachi, Shinjuku-ku, Tokyo 160-0002, JAPÓN  
Teléfono: +81 3 4335 9312 • Fax: +81 3 4335 9364  
Correo electrónico: bookimport@maruzen.co.jp • Sitio web: <http://maruzen.co.jp>

## **REPÚBLICA CHECA**

### **Suweco CZ, s.r.o.**

SESTUPNÁ 153/11, 162 00 Praga 6, REPÚBLICA CHECA  
Teléfono: +420 242 459 205 • Fax: +420 284 821 646  
Correo electrónico: nakup@suweco.cz • Sitio web: <http://www.suweco.cz>

## **Los pedidos de publicaciones, tanto de pago como gratuitas, se pueden enviar directamente a:**

Sección Editorial del OIEA, Dependencia de Mercadotecnia y Venta  
Organismo Internacional de Energía Atómica  
Vienna International Centre, PO Box 100, 1400 Viena, Austria  
Teléfono: +43 1 2600 22529 ó 22530 • Fax: +43 1 2600 29302  
Correo electrónico: sales.publications@iaea.org • Sitio web: <http://www.iaea.org/books>







## Seguridad mediante las normas internacionales

*“Los Gobiernos, órganos reguladores y explotadores de todo el mundo deben velar por que los materiales nucleares y las fuentes de radiación se utilicen con fines benéficos y de manera segura y ética. Las normas de seguridad del OIEA están concebidas para facilitar esa tarea, y aliento a todos los Estados Miembros a hacer uso de ellas.”*

Yukiya Amano  
Director General

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA  
VIENA

ISBN 978-92-0-310115-8

ISSN 1020-5837