

# INES

Escala Internacional de Sucesos Nucleares y Radiológicos

## Manual del usuario

Edición de 2008



Copatrocinado por el  
OIEA y la AEN/OCDE



**OIEA**

Organismo Internacional de Energía Atómica

INES  
ESCALA INTERNACIONAL DE SUCESOS  
NUCLEARES Y RADIOLÓGICOS  
MANUAL DEL USARIO

Edición de 2008



INES  
ESCALA INTERNACIONAL DE  
SUCECOS NUCLEARES Y  
RADIOLÓGICOS  
MANUAL DEL USUARIO

EDICIÓN DE 2008

COPATROCINADO POR EL  
ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA  
Y LA AGENCIA PARA LA ENERGÍA NUCLEAR DE LA OCDE

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA  
VIENA, 2010

## **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 Promoción y Venta de Publicaciones

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-e: [sales.publications@iaea.org](mailto:sales.publications@iaea.org)

<http://www.iaea.org/books>

© OIEA, 2010

Impreso por el OIEA en Austria  
Noviembre de 2010

## PRÓLOGO

La necesidad de comunicar fácilmente la importancia de cualquier suceso relacionado con el funcionamiento de las instalaciones nucleares o con la realización de actividades que dan origen a riesgos de radiación surgió en el decenio de 1980 a raíz de algunos accidentes en instalaciones nucleares que captaron la atención de los medios de comunicación internacionales. Como respuesta, y partiendo de la experiencia nacional de algunos países, se formularon propuestas para elaborar una escala internacional de clasificación de sucesos similar a las escalas que ya se venían utilizando en otras áreas (como las que comparan la gravedad de los terremotos), de forma que la comunicación de los riesgos radiológicos asociados a un suceso particular pudiera hacerse de forma coherente en los distintos países.

La Escala Internacional de Sucesos Nucleares y Radiológicos (INES) fue elaborada en 1990 por un grupo de expertos internacionales convocado por el OIEA y la Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE (AEN/OCDE) con el objeto de comunicar la importancia de los sucesos en instalaciones nucleares desde el punto de vista de la seguridad. Desde entonces, la escala INES se ha ampliado para atender la necesidad creciente de comunicar la importancia de cualquier suceso que produjera riesgos de radiación. A fin de satisfacer mejor las expectativas del público, la escala INES fue redefinida en 1992 y ampliada para hacerla aplicable a cualquier suceso relacionado con materiales radiactivos y/o con la radiación, incluido el transporte de materiales radiactivos. En 2001 se publicó una versión actualizada del Manual del Usuario de la escala INES a fin de aclarar el uso de la escala y perfeccionar la clasificación de los sucesos relacionados con el transporte y el ciclo del combustible. Se reconoció, sin embargo, que eran necesarias orientaciones adicionales y que ya se estaban realizando actividades al respecto, particularmente en lo relativo a los sucesos relacionados con el transporte. Prosiguió la labor en Francia y en España sobre las consecuencias potenciales y reales de los sucesos relacionados con fuentes de radiación o con el transporte. A petición de los miembros de la INES, las secretarías del OIEA y de la AEN/OCDE coordinaron la preparación de un manual integrado que proporcionase orientaciones adicionales para clasificar cualquier suceso asociado a las fuentes de radiación y al transporte de materiales radiactivos.

Esta nueva edición del Manual del Usuario de la escala INES consolida las orientaciones y aclaraciones adicionales y proporciona ejemplos y observaciones sobre el uso constante de la escala INES. La presente publicación reemplaza las ediciones anteriores. En ella se presentan criterios para clasificar cualquier suceso relacionado con la radiación y los materiales radiactivos, comprendidos los sucesos en el ámbito del transporte. Este manual está organizado de manera que facilita la

tarea de quienes tienen que clasificar los sucesos según su importancia para la seguridad utilizando la escala INES con fines de comunicación al público.

La red de comunicación INES actualmente recibe y difunde información sobre sucesos y la correspondiente clasificación según la INES a los oficiales nacionales de la INES en más de 60 Estados Miembros. Cada país que participa en la INES ha establecido una red que garantiza que los sucesos sean rápidamente clasificados y comunicados dentro o fuera del país. El OIEA presta servicios de capacitación en el uso de la escala INES, previa solicitud, y alienta a los Estados Miembros a adherirse al sistema.

El presente manual fue el resultado de los esfuerzos del Comité Asesor de la INES, así como de los oficiales nacionales de la INES que representan a los países miembros de la INES. Se agradecen especialmente las contribuciones de quienes participaron en la redacción y revisión de este manual. El OIEA y la AEN/OCDE desean expresar su gratitud a los miembros del Comité Asesor de la INES por su trabajo especial de revisión de esta publicación. El OIEA también agradece la ayuda de S. Mortin en la preparación de la publicación y la cooperación de J. Gauvain, su homólogo en la AEN/OCDE. También desea expresar su agradecimiento a los Gobiernos de España y de los Estados Unidos de América por la aportación de fondos extrapresupuestarios.

El funcionario del OIEA responsable de esta publicación fue R. Spiegelberg Planer, del Departamento de Seguridad Nuclear, Tecnológica y Física.

El OIEA expresa su agradecimiento al Consejo de Seguridad Nuclear de España por su contribución a la traducción de este Manual.



### NOTA EDITORIAL

*Aunque se ha puesto gran cuidado en mantener la exactitud de la información contenida en esta publicación, ni el OIEA ni sus Estados Miembros asumen responsabilidad alguna por las consecuencias que puedan derivarse de su uso.*

*Las denominaciones concretas de países o territorios empleadas en esta publicación no implican juicio alguno por parte del editor, el OIEA, sobre la condición jurídica de dichos países o territorios, de sus autoridades e instituciones, ni del trazado de sus fronteras.*

*La mención de nombres de determinadas empresas o productos (se indiquen o no como registrados) no implica ninguna intención de violar derechos de propiedad ni debe interpretarse como una aprobación o recomendación por parte del OIEA.*

# ÍNDICE

1.	RESUMEN DE LA ESCALA INES .....	1
1.1.	Antecedentes .....	1
1.2.	Descripción general de la escala .....	1
1.3.	Alcance de la escala .....	4
1.4.	Principios de los criterios INES .....	5
1.4.1.	Las personas y el medio ambiente .....	5
1.4.2.	Barreras y controles radiológicos .....	6
1.4.3.	La defensa en profundidad .....	6
1.4.4.	La clasificación definitiva .....	8
1.5.	Utilización de la escala .....	9
1.6.	Comunicación de la información sobre sucesos .....	10
1.6.1.	Principios generales .....	10
1.6.2.	Comunicaciones internacionales .....	11
1.7.	Estructura del manual .....	13
2.	EFFECTO EN LAS PERSONAS Y EL MEDIO AMBIENTE .....	15
2.1.	Descripción general .....	15
2.2.	Actividad emitida .....	16
2.2.1.	Métodos para estimar las emisiones .....	16
2.2.2.	Definiciones de niveles en función de la actividad emitida .....	18
2.3.	Dosis a las personas .....	19
2.3.1.	Criterios para estimar la clasificación mínima cuando resulta expuesta una persona .....	20
2.3.2.	Criterios para el estudio del número de personas expuestas .....	21
2.3.3.	Metodología para la estimación de dosis .....	22
2.3.4.	Resumen .....	22
2.4.	Ejemplos prácticos .....	24
3.	EFFECTO EN LAS BARRERAS Y LOS CONTROLES RADIOLÓGICOS EN LAS INSTALACIONES .....	32
3.1.	Descripción general .....	32
3.2.	Definición de los niveles .....	33

3.3.	Cálculo de la equivalencia radiológica .....	36
3.4.	Ejemplos prácticos .....	38
4.	EVALUACIÓN DEL EFECTO EN LA DEFENSA EN PROFUNDIDAD EN RELACIÓN CON LOS SUCESOS RELATIVOS AL TRANSPORTE Y LAS FUENTES DE RADIACIÓN .....	44
4.1.	Principios generales para la clasificación de sucesos .....	45
4.2.	Orientaciones detalladas para la clasificación de sucesos .....	46
4.2.1.	Determinación de las consecuencias potenciales máximas .....	46
4.2.2.	Clasificación basada en la eficacia de los elementos de seguridad .....	48
4.3.	Ejemplos prácticos .....	57
5.	EVALUACIÓN DEL EFECTO EN LA DEFENSA EN PROFUNDIDAD ESPECÍFICAMENTE EN RELACIÓN CON SUCESOS EN REACTORES DE POTENCIA MIENTRAS FUNCIONAN A POTENCIA .....	70
5.1.	Determinación de la clasificación básica teniendo en cuenta la eficacia de los elementos de seguridad .....	72
5.1.1.	Determinación de la frecuencia del iniciador .....	74
5.1.2.	Operabilidad de las funciones de seguridad .....	75
5.1.3.	Evaluación de la clasificación básica en el caso de sucesos con iniciador real .....	77
5.1.4.	Evaluación de la clasificación básica para sucesos sin iniciador real .....	80
5.1.5.	Sucesos potenciales (incluidos defectos estructurales) .	83
5.1.6.	Sucesos en la categoría Debajo de la escala/Nivel 0 ...	84
5.2.	Consideración de factores adicionales .....	85
5.2.1.	Fallos de causa común .....	85
5.2.2.	Deficiencias de procedimiento .....	86
5.2.3.	Cuestiones relativas a la cultura de seguridad .....	86
5.3.	Ejemplos prácticos .....	88
6.	EVALUACIÓN DEL IMPACTO EN LA DEFENSA EN PROFUNDIDAD EN RELACIÓN CON SUCESOS EN DETERMINADAS INSTALACIONES .....	108

6.1.	Principios generales para la clasificación de sucesos . . . . .	109
6.2.	Orientaciones detalladas para la clasificación de sucesos . . . . .	110
6.2.1.	Identificación de las consecuencias potenciales máximas . . . . .	110
6.2.2.	Determinación del número de barreras de seguridad . . .	112
6.2.3.	Evaluación de la clasificación básica . . . . .	116
6.2.4.	Consideración de factores adicionales . . . . .	119
6.3.	Orientaciones sobre el uso del enfoque de barreras de seguridad para tipos específicos de sucesos . . . . .	122
6.3.1.	Sucesos que implican fallos en sistemas de refrigeración durante una parada del reactor . . . . .	122
6.3.2.	Sucesos que implican fallos en sistemas de refrigeración que afectan a la piscina de combustible gastado . . . . .	123
6.3.3.	Control de la criticidad . . . . .	124
6.3.4.	Emisión o dispersión de contaminación no autorizada . . . . .	125
6.3.5.	Control de dosis . . . . .	125
6.3.6.	Enclavamientos en puertas a recintos blindados . . . . .	125
6.3.7.	Fallo de los sistemas de ventilación por extracción, de filtración y de limpieza . . . . .	126
6.3.8.	Sucesos de manipulación y caídas de cargas pesadas . . . . .	127
6.3.9.	Pérdida de suministro eléctrico . . . . .	128
6.3.10.	Incendios y explosiones . . . . .	129
6.3.11.	Peligros externos . . . . .	129
6.3.12.	Fallos en los sistemas de refrigeración . . . . .	130
6.4.	Ejemplos prácticos . . . . .	130
6.4.1.	Sucesos en un reactor de potencia en régimen de parada . . . . .	130
6.4.2.	Sucesos en instalaciones distintas de reactores de potencia . . . . .	138
7.	PROCEDIMIENTO DE CLASIFICACIÓN . . . . .	152
APÉNDICE I:	CÁLCULO DE LA EQUIVALENCIA RADIOLÓGICA . . . . .	163
APÉNDICE II:	NIVELES UMBRAL PARA LOS EFECTOS DETERMINISTAS . . . . .	168

APÉNDICE III: VALORES D CORRESPONDIENTES A VARIOS ISÓTOPOS .....	172
APÉNDICE IV: CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES RADIATIVAS BASADA EN LA PRÁCTICA COMÚN .....	176
REFERENCIAS .....	179
ANEXO I: DEFENSA EN PROFUNDIDAD .....	181
ANEXO II: EJEMPLOS DE INICIADORES Y SU FRECUENCIA .....	184
ANEXO III: LISTA DE PAÍSES Y ORGANIZACIONES PARTICIPANTES .....	191
GLOSARIO .....	193
LISTA DE FIGURAS .....	203
LISTA DE CUADROS .....	205
LISTA DE EJEMPLOS .....	207
COLABORADORES EN LA REDACCIÓN Y REVISIÓN .....	211

# **1. RESUMEN DE LA ESCALA INES**

## **1.1. ANTECEDENTES**

La Escala Internacional de Sucesos Nucleares y Radiológicos se emplea para comunicar al público de manera rápida y coherente la importancia desde el punto de vista de la seguridad de sucesos asociados a las fuentes de radiación. Abarca un amplio espectro de prácticas, incluidos los usos industriales como las radiografías, el empleo de fuentes de radiación en hospitales, las actividades en instalaciones nucleares y el transporte de materiales radiactivos. El uso de la escala INES, que permite analizar los sucesos derivados de todas estas prácticas desde una perspectiva adecuada, puede facilitar una comprensión común entre la comunidad técnica, los medios de comunicación y el público.

La escala fue elaborada en 1990 por expertos internacionales convocados por el OIEA y la Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE (AEN/OCDE). Inicialmente recogía la experiencia obtenida del uso de escalas parecidas en Francia y Japón, así como la consideración de posibles escalas de varios países. Desde entonces, el OIEA ha gestionado su desarrollo en colaboración con la AEN/OCDE y con el apoyo de más de 60 oficiales nacionales designados que representan oficialmente a los Estados miembros de la INES en la reunión técnica bienal de ésta.

La escala se aplicó en un principio a la clasificación de sucesos acontecidos en centrales nucleares y, más tarde, se amplió y adaptó para poder aplicarla a todas las instalaciones relacionadas con la industria nuclear civil. Más recientemente, ha sido ampliada y adaptada de nuevo para satisfacer la creciente necesidad de comunicar la importancia de todos los sucesos relacionados con el transporte, almacenamiento y uso de materiales radiactivos y fuentes de radiación. Este manual revisado reúne en un solo documento orientaciones para todos los usos.

## **1.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESCALA**

En la escala, los sucesos se clasifican en siete niveles: los niveles 4 a 7 se denominan “accidentes” y los niveles 1 a 3 “incidentes”. Los sucesos sin significación para la seguridad están clasificados como “Debajo de la escala / Nivel 0”. Los sucesos que no tienen importancia desde el punto de vista de la seguridad nuclear o radiológica no están clasificados en la escala (véase la sección 1.3).

Con fines de comunicación de los sucesos al público, a cada nivel de la escala INES se le ha asignado una expresión distinta. Éstas son, por orden de gravedad creciente: ‘anomalía’, ‘incidente’, ‘incidente importante’, ‘accidente con consecuencias de alcance local’, ‘accidente con consecuencias de mayor alcance’<sup>1</sup>, ‘accidente importante’ y ‘accidente grave’.

Al concebir la escala, el objetivo fue hacer que la gravedad de un suceso correspondiera a un incremento de aproximadamente un orden de magnitud para cada aumento de nivel en la escala (es decir, la escala es logarítmica). El accidente de 1986 en la central nuclear de Chernóbil corresponde al nivel 7 en la escala INES. Tuvo amplios efectos en las personas y el medio ambiente. Una de las consideraciones esenciales al elaborar los criterios de clasificación de la escala INES fue garantizar que el nivel de importancia de sucesos menos graves y más localizados estuviese claramente diferenciado del de este accidente muy grave. Así, el accidente de 1979 en la central nuclear de Three Mile Island se considera de nivel 5 en la escala INES, y un suceso que produzca una única muerte por radiación se considera de nivel 4.

En el cuadro 1 se muestra la estructura de la escala. Los sucesos se consideran desde el punto de vista de su impacto en tres áreas diferentes: los efectos en las personas y el medio ambiente; los efectos en las barreras y los controles radiológicos en las instalaciones; y los efectos en la defensa en profundidad. En las secciones posteriores de este manual se dan definiciones detalladas de los niveles.

Los efectos en las personas y el medio ambiente pueden ser localizados (es decir, dosis de radiación a una o pocas personas cercanas al lugar del suceso) o amplios, como en la emisión de material radiactivo desde una instalación. Los efectos en las barreras y los controles radiológicos en las instalaciones son solo pertinentes en el caso de las instalaciones que manipulan grandes cantidades de materiales radiactivos, como los reactores de potencia, las instalaciones de reprocesamiento, los reactores de investigación de gran tamaño o las grandes instalaciones de producción de fuentes. Abarcan sucesos como la fusión del núcleo del reactor y el derrame de cantidades importantes de material radiactivo como consecuencia de fallos de las barreras radiológicas, poniendo así en peligro la seguridad de las personas y del medio ambiente. Los sucesos clasificados con referencia a estos dos ámbitos (personas y medio ambiente, y barreras y controles radiológicos) se describen en el presente manual como sucesos con “consecuencias reales”. La reducción de la defensa en profundidad se refiere

---

<sup>1</sup> Por ejemplo, una emisión desde una instalación cuyo resultado probable sea la adopción de alguna medida protectora, o varias muertes como consecuencia de una fuente radiactiva de gran tamaño abandonada.

CUADRO 1. CRITERIOS GENERALES PARA CLASIFICAR SUCESOS DE ACUERDO CON LA INES

Descripción y nivel en la escala INES	Personas y medio ambiente	Barreras y controles radiológicos en las instalaciones	Defensa en profundidad
Accidente grave Nivel 7	- Emisión grave de materiales radiactivos con amplios efectos en la salud y el medio ambiente, que requiere la aplicación de las contremedidas previstas y de otras. - Emisión importante de materiales radiactivos, que probablemente requiere la aplicación de las contremedidas previstas.		
Accidente importante Nivel 6			
Accidente con consecuencias de mayor alcance Nivel 5	- Emisión limitada de materiales radiactivos, que probablemente requiere la aplicación de algunas de las contremedidas previstas. - Varias defunciones por radiación.	- Daños graves en el núcleo del reactor. - Emisión de grandes cantidades de materiales radiactivos dentro de una instalación, con alta probabilidad de exposición del público; provocada posiblemente por un incendio o un accidente de criticidad grave.	
Accidente con consecuencias de alcance local Nivel 4	- Emisión menor de materiales radiactivos, con escasa probabilidad de tener que aplicar las contremedidas previstas, salvo los controles locales de alimentos. - Al menos una defunción por radiación.	- Fusión de combustible o daño al combustible, que provoca una emisión superior al 0,1% del inventario del núcleo. - Emisión de cantidades considerables de materiales radiactivos dentro de una instalación, con alta probabilidad de importante exposición del público.	
Incidente importante Nivel 3	- Exposición diez veces superior al límite anual establecido para la exposición de los trabajadores. - Efecto determinista y no letal de la radiación en la salud (p. ej., quemaduras).	- Tasas de exposición superiores a 1 Sv/h en una zona de operación. - Contaminación grave en una zona no prevista en el diseño, con escasa probabilidad de exposición importante del público.	- Cuasi accidente en una central nuclear sin elementos de seguridad pendientes de aplicación. - Pérdida o robo de fuentes selladas altamente radiactivas. - Entrega equivocada de fuentes selladas altamente radiactivas, sin que existan procedimientos adecuados para manipularlas.
Incidente Nivel 2	- Exposición de una persona del público por encima de 10 mSv. - Exposición de un trabajador por encima de los límites anuales reglamentarios.	- Niveles de radiación superiores a 50 mSv/h en una zona de operación. - Contaminación importante desde dentro de una instalación a una zona no prevista en el diseño.	- Fallos importantes en los elementos de seguridad, aunque sin consecuencias reales. - Hallazgo de una fuente sellada huérfana, de un dispositivo o de un bulto de transporte altamente radiactivos, cuyos elementos de seguridad siguen intactos - Embalaje inadecuado de una fuente sellada altamente radiactiva.
Anomalia Nivel 1			- Sobreexposición de una persona del público por encima de los límites anuales reglamentarios. - Problemas menores en componentes de seguridad con importantes medidas de defensa en profundidad pendientes de aplicación. - Pérdida o robo de fuentes radiactivas, de dispositivos o de bultos de transporte de baja actividad.
Sin significación para la seguridad (Debajo de la escala/Nivel 0)			

principalmente a los sucesos sin consecuencias reales pero en los que las medidas adoptadas para evitar o hacer frente a accidentes no funcionaron como se preveía.

El nivel 1 abarca solo la degradación de la defensa en profundidad. En los niveles 2 y 3 se incluyen degradaciones más graves de la defensa en profundidad o los niveles bajos de las consecuencias reales para las personas o las instalaciones. Los niveles 4 a 7 abarcan niveles cada vez mayores de consecuencias reales para las personas, el medio ambiente o las instalaciones.

Aunque la escala INES abarca una amplia gama de prácticas, no es verosímil que los sucesos asociados a algunas prácticas alcancen los niveles más altos de la escala. Por ejemplo, los sucesos relacionados con el transporte de fuentes utilizadas en radiografía industrial nunca podrían rebasar el nivel 4, aun cuando la fuente fuese tomada y manipulada incorrectamente.

### 1.3. ALCANCE DE LA ESCALA

La escala puede aplicarse a cualquier suceso relacionado con el transporte, almacenamiento y uso de materiales radiactivos y fuentes de radiación. Es de aplicación si el suceso ocurre tanto dentro como fuera de una instalación. Incluye la pérdida o el robo de fuentes o bultos radiactivos y el hallazgo de fuentes huérfanas, como fuentes transferidas involuntariamente al comercio de chatarra. La escala también puede ser utilizada para sucesos que impliquen la exposición no prevista de personas en otras prácticas reguladas (por ejemplo, el procesamiento de minerales).

La escala solo está destinada a su uso en aplicaciones civiles (no militares) y está relacionada únicamente con los aspectos de seguridad de un suceso. Su finalidad no es utilizarla para clasificar sucesos relacionados con la seguridad física o actos dolosos cometidos con el fin de exponer deliberadamente a personas a la radiación.

Cuando un dispositivo se utiliza con fines médicos (por ejemplo, el radiodiagnóstico y la radioterapia), las orientaciones dadas en este manual pueden emplearse para clasificar sucesos que tengan como resultado la exposición real de trabajadores y del público, o que impliquen la degradación del dispositivo o deficiencias en los elementos de seguridad. Actualmente la escala no abarca las consecuencias reales o potenciales en pacientes expuestos como parte de un procedimiento médico. Se reconoce la necesidad de orientaciones sobre esas exposiciones durante los procedimientos médicos y se tratará en el futuro.

La escala no se aplica a cada suceso que se produzca en una instalación nuclear o radiológica. Tampoco es pertinente en relación con sucesos asociados únicamente a la seguridad industrial o con otros sucesos que carezcan de

importancia para la seguridad nuclear o radiológica. Por ejemplo, los sucesos cuya única consecuencia sea un peligro químico, como la emisión gaseosa de material no radiactivo, o un suceso como una caída o descarga eléctrica que causen lesiones o el fallecimiento de un trabajador en una instalación nuclear, no se clasificarían empleando esta escala. De modo análogo, los sucesos que afecten a la disponibilidad de una turbina o un generador, si no afectaron al reactor a potencia, no se clasificarían según la escala, ni los incendios que no impliquen ningún posible peligro radiológico ni afecten a ningún equipo asociado a la seguridad nuclear o radiológica.

#### **1.4. PRINCIPIOS DE LOS CRITERIOS INES**

Es preciso considerar cada suceso en relación con cada uno de los ámbitos pertinentes descritos en la sección 1.2, a saber: las personas y el medio ambiente, las barreras y controles radiológicos, y la defensa en profundidad. La clasificación de un suceso es por tanto el nivel más alto al que se haya llegado al considerar cada uno de los tres ámbitos. Las siguientes secciones describen brevemente los principios asociados a la evaluación de las repercusiones en cada ámbito.

##### **1.4.1. Las personas y el medio ambiente**

La forma más sencilla de clasificar las consecuencias reales para las personas sería basar la clasificación en las dosis recibidas. En el caso de los accidentes, sin embargo, quizás no sea ésta una medida adecuada para tratar todo el abanico de consecuencias. Por ejemplo, la aplicación eficiente de las disposiciones de emergencia para la evacuación de los miembros de la población puede traducirse en dosis relativamente bajas, aun cuando se haya producido un accidente significativo en una instalación. Clasificar un suceso de este tipo meramente sobre la base de las dosis recibidas no comunica la trascendencia real de lo sucedido en la instalación ni tiene en cuenta la posible amplitud de la contaminación. Por tanto, para los niveles de accidente de la escala INES (4 a 7), se han desarrollado criterios basados en la cantidad de material radiactivo emitido en lugar de en la dosis recibida. Es evidente que estos criterios solo se aplican a prácticas en las que existe la posibilidad de dispersión de una cantidad significativa de material radiactivo.

Con el fin de tener en cuenta la amplia gama de materiales radiactivos que podrían verse emitidos, la escala emplea el concepto de “equivalencia radiológica”. De este modo, la cantidad se define en términos de terabecquerels de  $^{131}\text{I}$ , y se definen factores de conversión para determinar el nivel equivalente

para otros isótopos que tendrían como consecuencia el mismo nivel de dosis efectiva.

En el caso de sucesos con menor nivel de impacto en las personas y el medio ambiente, la clasificación se basa en las dosis recibidas y el número de personas expuestas.

(Anteriormente, los criterios relativos a las emisiones se conocían como criterios “fuera del emplazamiento”).

#### **1.4.2. Barreras y controles radiológicos**

En las grandes instalaciones en las que existe la posibilidad (por improbable que sea) de una emisión importante de actividad, y en las que los límites del emplazamiento están claramente definidos como parte de la licencia, es posible que se dé un suceso con fallos importantes de las barreras radiológicas pero sin consecuencias importantes para las personas y el medio ambiente (por ejemplo, la fusión del núcleo del reactor en la que el material radiactivo queda dentro del recinto de la contención). También es posible que ocurra un suceso en esas instalaciones en el que se produzca una dispersión significativa de la contaminación o un aumento de la radiación, pero en el que siga existiendo una defensa en profundidad considerable que evite consecuencias importantes para las personas y el medio ambiente. Aunque en ninguno de los dos casos hay consecuencias significativas para los individuos que se encuentren fuera de los límites del emplazamiento, en el primero existe una mayor probabilidad de que los individuos se vean afectados por las consecuencias, y en el segundo, estos fallos representan un error importante en la gestión de los controles radiológicos. Es importante que la clasificación de estos sucesos en la escala INES tenga en cuenta estas cuestiones de forma adecuada.

Los criterios que abordan estas cuestiones son de aplicación únicamente en instalaciones autorizadas que manipulan grandes cantidades de materiales radiactivos. (Estos criterios, junto con los relativos a las dosis para los trabajadores, se denominaban anteriormente criterios “dentro del emplazamiento”). En cuanto a los sucesos que guarden relación con fuentes de radiación y el transporte de materiales radiactivos, solo es necesario tener en cuenta los criterios relativos a las personas y el medio ambiente y a la defensa en profundidad.

#### **1.4.3. La defensa en profundidad**

El objetivo de la escala INES es que sea aplicable a todos los sucesos radiológicos y a todos los sucesos relativos a la seguridad nuclear o radiológica, la mayor parte de los cuales están relacionados con fallos de los equipos o los

procedimientos. Aunque muchos de estos sucesos no tienen consecuencias reales, se admite que algunos revisten mayor importancia para la seguridad que otros. Si estos tipos de sucesos solo se clasificasen en función de las consecuencias reales, todos corresponderían a la categoría “Debajo de la escala / Nivel 0”, por lo que la escala carecería de valor real para entender su verdadera importancia. Por ello, durante la concepción original de la escala INES, se acordó que ésta debía abarcar no solo las consecuencias reales sino también las consecuencias potenciales de los sucesos.

Se elaboró una serie de criterios para abarcar lo que se ha acabado conociendo como “degradación de la defensa en profundidad”. Estos criterios tienen en cuenta el hecho de que todas las aplicaciones relacionadas con el transporte, almacenamiento y uso de materiales radiactivos y de fuentes de radiación incorporan una serie de elementos de seguridad. El número y la fiabilidad de estos elementos dependen de su diseño y de la magnitud del peligro. Si bien pueden darse sucesos en los que fallen algunos de estos elementos de seguridad, otros evitarán que se produzcan consecuencias reales. A fin de comunicar la importancia de estos sucesos, se han definido criterios que dependen de la cantidad de material radiactivo y de la gravedad del fallo de los elementos de seguridad.

Puesto que estos sucesos solo suponen un aumento de la probabilidad de que se produzca un accidente, sin consecuencias reales, su clasificación máxima se fija en el nivel 3 (es decir, un incidente importante). Además, este nivel máximo solo se aplica a prácticas en las que existe la posibilidad de que, si fallan todos los elementos de seguridad, se produzca un accidente significativo (es decir, uno de nivel 5, 6 o 7 en la escala INES). En el caso de sucesos asociados a prácticas con un potencial de peligro mucho menor (por ejemplo, el transporte de pequeñas fuentes radiactivas para uso médico o industrial), la clasificación máxima dentro de la defensa en profundidad es en consecuencia menor.

Una última cuestión que se trata en el contexto de la defensa en profundidad es lo que se describe en este documento como factores adicionales, que contemplan, según corresponda, los fallos de causa común, los problemas con los procedimientos y la cultura de la seguridad. A fin de tratar estos factores adicionales, los criterios permiten aumentar la clasificación en un nivel a partir de la clasificación obtenida únicamente teniendo en cuenta la importancia de los fallos reales administrativos o de equipos. (Cabe señalar que en el caso de sucesos relacionados con fuentes de radiación y con el transporte de materiales radiactivos, la posibilidad de incrementar el nivel debido a factores adicionales forma parte de los cuadros de clasificación y no se trata de una consideración aparte.)

Los criterios detallados elaborados para poner en práctica estos principios se definen en el presente documento. Se utilizan tres enfoques específicos y

sistemáticos: uno para los sucesos relacionados con el transporte y las fuentes de radiación, uno específico para los sucesos en reactores de potencia en funcionamiento y uno para los sucesos en otras instalaciones autorizadas (incluidos los sucesos en reactores en régimen de parada fría, los reactores de investigación y la clausura de instalaciones nucleares). Por esa razón hay tres secciones distintas para la defensa en profundidad, una para cada uno de estos enfoques. Cada sección es independiente, lo que permite a los usuarios centrarse en las orientaciones relativas a los sucesos de interés.

Los criterios relativos a los sucesos relacionados con el transporte y las fuentes de radiación figuran en una serie de cuadros que combinan los tres elementos de la defensa en profundidad antes mencionados (es decir, la cantidad de material radiactivo, el alcance de cualquier fallo de los elementos de seguridad y los factores adicionales).

Los criterios relativos a los reactores de potencia en funcionamiento permiten obtener una clasificación básica a partir de dos cuadros y aumentarla en un nivel en función de los factores adicionales. La clasificación básica de los cuadros depende de si los elementos de seguridad se vieron comprometidos realmente, del alcance de la degradación de esos elementos de seguridad y de la probabilidad de que se produzca un suceso que pueda poner en peligro dichos elementos.

Los criterios relativos a los sucesos en reactores en régimen de parada fría, los reactores de investigación y otras instalaciones autorizadas permiten obtener una clasificación básica a partir de un cuadro en función de las consecuencias máximas, si fallasen todos los elementos de seguridad, y de cuántos elementos de seguridad queden. Este último factor se tiene en cuenta agrupando los elementos de seguridad en lo que se denominan barreras de seguridad independientes y contando el número de esas barreras. A continuación se consideran los factores adicionales, lo que permite un posible aumento de la clasificación básica en un nivel.

#### **1.4.4. La clasificación definitiva**

En la clasificación definitiva de un suceso se tienen que tomar en consideración todos los criterios pertinentes anteriormente descritos. Cada suceso debería considerarse en relación con cada uno de los criterios adecuados y la clasificación más alta obtenida es la que debe aplicarse al suceso. Una comprobación final con fines de coherencia con la descripción general de los niveles de la escala INES garantiza que la clasificación es adecuada. El enfoque general de la clasificación se resume en los diagramas de flujo de la sección 7.

## 1.5. UTILIZACIÓN DE LA ESCALA

La escala INES es un instrumento para la comunicación. Su objetivo fundamental es facilitar la comunicación y el entendimiento entre la comunidad técnica, los medios de comunicación y el público sobre la importancia de los sucesos para la seguridad. En la sección 1.6 se dan directrices más específicas sobre el uso de la escala INES como parte de la comunicación de información sobre sucesos.

No es el objetivo de la escala INES ni del sistema internacional de comunicación asociado a ella definir las prácticas o instalaciones que deben quedar dentro del sistema de control regulador, ni establecer los requisitos para que los usuarios notifiquen sucesos a la autoridad reguladora o al público. La comunicación de sucesos y de su clasificación según la escala INES no constituye un sistema de notificación oficial. Del mismo modo, los criterios de la escala no tienen como finalidad sustituir los criterios bien establecidos que emplee cualquier país para adoptar disposiciones oficiales en caso de emergencia. Es responsabilidad de cada país definir sus propios reglamentos y disposiciones en relación con esas cuestiones. La finalidad de la escala INES es sencillamente ayudar a poner en perspectiva la importancia para la seguridad de los sucesos que se han de comunicar.

Es importante que las comunicaciones tengan lugar sin demora; de lo contrario, se producirán interpretaciones confusas del suceso debido a la especulación de los medios de comunicación y de la población. En algunas situaciones, cuando no se conocen desde el principio todos los detalles del suceso, se recomienda dar una clasificación provisional basada en la información disponible y la opinión de quienes conozcan la naturaleza del suceso. Más adelante, debería comunicarse una clasificación definitiva y explicar las diferencias, si las hay.

En la gran mayoría de sucesos, estas comunicaciones solo serán de interés en la región o el país en el que se produzca el suceso, y los países participantes tendrán que establecer mecanismos para darlas a conocer. Sin embargo, a fin de facilitar las comunicaciones internacionales en relación con sucesos que susciten, o puedan suscitar, un mayor interés, el OIEA y la AEN/OCDE han desarrollado una red de comunicaciones que permite introducir detalles del suceso en un formulario de clasificación de sucesos (ERF), que se distribuye inmediatamente a todos los Estados miembros de la escala INES. Desde 2001, este servicio de información de la escala INES basado en la web ha sido utilizado por los miembros de la escala INES para notificar sucesos a la comunidad técnica, así como a los medios de comunicación y a la población.

No conviene utilizar la escala INES para comparar la actuación desde la perspectiva de la seguridad entre instalaciones, organizaciones o países. Las

disposiciones para notificar al público sucesos de poca importancia pueden ser distintas, y es difícil garantizar una coherencia total al clasificar sucesos que están entre la categoría “Debajo de la escala / Nivel 0” y el nivel 1. Aunque se dispondrá de información sobre sucesos del nivel 2 y superiores, el número estadísticamente reducido de estos sucesos, que también varía cada año, dificulta la realización de comparaciones internacionales significativas.

## 1.6. COMUNICACIÓN DE LA INFORMACIÓN SOBRE SUCESOS

### 1.6.1. Principios generales

La escala INES debería emplearse como parte de una estrategia de comunicación a escala local, nacional e internacional. Aunque no es conveniente que un documento internacional defina exactamente cómo deben realizarse las comunicaciones nacionales, existen algunos principios generales que pueden aplicarse. Estos principios se facilitan en la presente sección. En la sección 1.6.2 se dan orientaciones acerca de las comunicaciones internacionales.

Cuando se comuniquen sucesos empleando la clasificación de la escala INES, hay que recordar que el público al que se dirige la información se compone principalmente de los medios de comunicación y la población. Por consiguiente, es preciso:

- utilizar un lenguaje sencillo y evitar la jerga técnica en la descripción resumida del suceso;
- evitar las abreviaturas, especialmente si se mencionan equipos o sistemas (por ejemplo, bomba principal de refrigerante en vez de BPR);
- mencionar las consecuencias reales confirmadas, tales como los efectos deterministas en la salud de los trabajadores y/o los miembros de la población;
- proporcionar una estimación del número de trabajadores y/o miembros de la población expuestos, así como su exposición real;
- decir claramente cuándo no hay consecuencias para las personas y el medio ambiente;
- mencionar las medidas protectoras adoptadas.

Los siguientes elementos son de importancia cuando se comunican sucesos ocurridos en instalaciones nucleares:

- la fecha y la hora del suceso;
- el nombre y la ubicación de la instalación;

- el tipo de instalación;
- los principales sistemas afectados, si resulta pertinente;
- una declaración general mediante la cual se informe de si hay o no emisión de radiactividad al medio ambiente o si hay o no consecuencias para las personas y el medio ambiente.

Además, los siguientes elementos son partes importantes de la descripción de los sucesos relacionados con las fuentes de radiación o el transporte de materiales radiactivos.

- los radionucleidos afectados por los sucesos;
- la práctica para la que se utilizó la fuente y su categoría según el OIEA [1];
- el estado de la fuente y del dispositivo conexo; y si se ha perdido, cualquier información que sea de ayuda para identificar la fuente o el dispositivo, tal como los números de serie de registro.

### **1.6.2. Comunicaciones internacionales**

Tal como se explicó en la sección 1.5, el OIEA cuenta con un sistema para facilitar la comunicación internacional de sucesos. Es importante saber que este servicio no es un sistema de notificación oficial y que la participación en él es voluntaria. Su finalidad es facilitar la comunicación y el entendimiento entre la comunidad técnica (la industria y los reguladores), los medios de comunicación y la población sobre la importancia de los sucesos desde el punto de vista de la seguridad que hayan suscitado o sea probable que susciten el interés de los medios de comunicación internacionales. El uso del sistema para comunicar sucesos relativos al transporte transfronterizo también tiene ventajas.

Muchos países han aceptado participar en el sistema INES porque son perfectamente conscientes de la importancia que tiene la comunicación abierta de los sucesos de manera que se explique claramente su trascendencia.

Se alienta encarecidamente a todos los países a comunicar los sucesos internacionalmente (en menos de 24 horas, de ser posible) según los criterios acordados, que son:

- los sucesos clasificados en el nivel 2 o superior; o
- los sucesos que susciten interés público internacional.

Es cierto que habrá ocasiones en las que se precisen plazos más amplios para conocer o estimar las consecuencias reales del suceso. En estos casos, convendría dar una clasificación provisional y una clasificación definitiva en una fecha posterior.

Los sucesos son publicados en el sistema por los oficiales nacionales de la INES, designados oficialmente por los Estados Miembros. El sistema incluye descripciones de sucesos, clasificaciones según la escala INES, comunicados de prensa (en el idioma nacional y en inglés) y documentación técnica para expertos. Las descripciones de sucesos, las clasificaciones y los comunicados de prensa están a disposición del público en general sin necesidad de inscribirse. El acceso a la documentación técnica se limita a los expertos designados e inscritos.

En el formulario de clasificación de sucesos (ERF) se resumen los temas principales que se deben facilitar en relación con un suceso específico. La información que se pone a disposición del público debería seguir los principios enumerados en la sección 1.6.1. Al aplicar la escala al transporte de materiales radiactivos, la naturaleza multinacional de algunos sucesos en el transporte complica la cuestión. Sin embargo, solo un país debe facilitar el ERF en relación con cada suceso. El país en el que acontece el suceso publica el ERF, al que no tiene acceso el público. Los principios que se deben aplicar son los siguientes:

- Se espera que el país en el que se descubre el suceso inicie el debate sobre qué país presentará el formulario de clasificación de sucesos.
- Como recomendación general, si el suceso tiene consecuencias reales, probablemente el país en el que se den esas consecuencias sea el más adecuado para presentar el formulario de clasificación de sucesos. Si el suceso sólo implica fallos en los controles administrativos o en el embalaje, el país que envió el bulto es probablemente el más adecuado para presentar el formulario de clasificación de sucesos. En caso de pérdida de un bulto, probablemente el país del que salió el envío sea el más apropiado para ocuparse de la clasificación y notificar el suceso.
- Cuando se requiera información de otros países, ésta puede obtenerse a través de la autoridad competente que corresponda y debe tenerse en cuenta al preparar el formulario de clasificación de sucesos.
- En el caso de sucesos relacionados con instalaciones nucleares, es esencial identificar la instalación, su ubicación y su tipo.
- En el caso de sucesos relacionados con fuentes de radiación, puede ser útil incluir algunos detalles técnicos sobre la fuente/el dispositivo o incluir los números de registro del dispositivo, ya que el sistema INES constituye un medio rápido para diseminar esa información a escala internacional.
- En el caso de sucesos relacionados con el transporte de materiales radiactivos, puede ser útil incluir la identificación del tipo de bulto (por ejemplo, exceptuado, industrial, del tipo A o B).
- En el caso de instalaciones nucleares, la información básica que se debe facilitar incluye el nombre, el tipo y la ubicación de la instalación y los efectos para las personas y el medio ambiente. Aunque ya existen otros

mecanismos para el intercambio de información operacional a escala internacional, el sistema INES prevé la comunicación inicial del suceso a los medios de comunicación, la población y la comunidad técnica.

- El formulario de clasificación de sucesos también incluye el fundamento de la clasificación. Aunque no forma parte del material comunicado al público, resulta útil para que otros oficiales nacionales entiendan de ese fundamento y puedan responder a cualquier pregunta. La explicación de la clasificación debe mostrar claramente cómo se ha establecido la clasificación del suceso haciendo referencia a las partes adecuadas del procedimiento de clasificación.

## 1.7. ESTRUCTURA DEL MANUAL

El manual se divide en siete secciones principales.

La sección 1 da una visión general de la escala INES.

La sección 2 presenta las orientaciones detalladas necesarias para clasificar sucesos desde el punto de vista de su efecto sobre las personas y el medio ambiente. Se proporcionan varios ejemplos prácticos.

La sección 3 ofrece las orientaciones detalladas necesarias para clasificar sucesos desde el punto de vista de su efecto en las barreras y los controles radiológicos en las instalaciones. También se proporcionan varios ejemplos prácticos.

En las secciones 4, 5 y 6 se dan las orientaciones detalladas necesarias para clasificar sucesos desde el punto de vista de su efecto en la defensa en profundidad.

En la sección 4 figuran las orientaciones sobre defensa en profundidad para todos los sucesos asociados al transporte y las fuentes de radiación, salvo los que se produzcan en:

- aceleradores;
- instalaciones que se ocupen de la fabricación y distribución de radionucleidos;
- instalaciones que utilicen una fuente de la categoría 1 [1].

Todos ellos se tratan en la sección 6.

La sección 5 presenta las orientaciones sobre defensa en profundidad relativas a sucesos en reactores de potencia. Solo se refiere a los sucesos con el reactor a potencia. Los sucesos en reactores de potencia cuando están en régimen de parada, parada definitiva o en fase de clausura se tratan en la sección 6. Los sucesos en los reactores de investigación también se tratan en la sección 6.

En la sección 6 figuran las orientaciones sobre defensa en profundidad relativas a sucesos en instalaciones del ciclo de combustible, reactores de investigación y aceleradores (por ejemplo, aceleradores lineales y ciclotrones) y a sucesos relacionados con fallos de los elementos de seguridad en instalaciones que se ocupan de la fabricación y distribución de radionucleidos o en las que se utilice una fuente de la categoría 1. También se proporcionan las orientaciones para clasificar sucesos en reactores nucleares de potencia que se encuentren en régimen de parada fría (durante la interrupción del servicio, o la parada definitiva o la clausura).

El fin de tratar la defensa en profundidad en tres secciones distintas es simplificar la tarea de las personas que clasifican los sucesos. Si bien existe cierta repetición entre los capítulos, cada uno de ellos contiene todos los elementos necesarios para clasificar sucesos del tipo de que se trate. En cada una de las tres secciones sobre defensa en profundidad se incluyen ejemplos prácticos pertinentes.

La sección 7 es un resumen del procedimiento que se debe emplear para clasificar sucesos, e incluye diagramas de flujo ilustrativos y cuadros de ejemplos.

Cuatro apéndices, dos anexos y la bibliografía aportan más información general de naturaleza científica.

Las definiciones y la terminología adoptadas en este manual se presentan en el Glosario.

Este manual sustituye a la edición de 2001 [2], al material de trabajo publicado en 2006 como orientaciones adicionales para los oficiales nacionales [3] y a la aclaración para sucesos relacionados con daños al combustible aprobada en 2004 [4].

## **2. EFECTO EN LAS PERSONAS Y EL MEDIO AMBIENTE**

### **2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL**

La clasificación de sucesos desde el punto de vista de su efecto en las personas y el medio ambiente tiene en cuenta el impacto radiológico real en los trabajadores, los miembros de la población y el medio ambiente. La evaluación se basa en las dosis a las personas o en la cantidad de material radiactivo emitido. Cuando se basa en las dosis, también se tiene en cuenta el número de personas que las reciben. Los sucesos también deben clasificarse empleando los criterios relacionados con la defensa en profundidad (secciones 4, 5 o 6) y, cuando proceda, los relacionados con las barreras y los controles radiológicos en las instalaciones (sección 3), en caso de que esos criterios den lugar a una clasificación más alta en la escala INES.

Se acepta que, cuando se trate de un incidente importante o de accidente, quizá no sea posible determinar con precisión durante las primeras fases del suceso las dosis recibidas o la magnitud de la emisión. Sin embargo, debería poderse realizar una estimación inicial y, de este modo, asignar una clasificación provisional. Es preciso recordar que la finalidad de la escala INES es permitir la rápida comunicación de la importancia de un suceso.

En los sucesos en que no se ha producido una emisión significativa, pero que podría producirse si no se controla el suceso, es probable que el nivel provisional se base en lo que haya sucedido hasta ese momento (empleando todos los criterios pertinentes de la INES). Es posible que una reevaluación posterior de las consecuencias haga necesaria la revisión de la clasificación provisional.

La escala no debe confundirse con los sistemas de clasificación de emergencias y no debe usarse como base para determinar las medidas de respuesta a emergencias. Igualmente, el alcance de la respuesta de emergencia a los sucesos no se emplea como base para la clasificación. Los detalles de la planificación para hacer frente a sucesos radiológicos varían de un país a otro, y también puede suceder que en ciertos casos se adopten medidas preventivas que no estén plenamente justificadas por la magnitud real de la emisión. Por estos motivos deben emplearse la magnitud de la emisión y la dosis estimada para clasificar el suceso en la escala, y no las medidas preventivas adoptadas en ejecución de los planes de respuesta a emergencias.

En esta sección se describen dos tipos de criterios:

- la cantidad de actividad emitida: aplicable a grandes emisiones de material radiactivo al medio ambiente;
- las dosis a las personas: aplicable a todas las demás situaciones.

El procedimiento para aplicar estos criterios se resume en los diagramas de flujo de la sección 7. No obstante, cabe señalar que en el caso de sucesos asociados con el transporte y las fuentes de radiación, solo es necesario tener en cuenta los criterios relativos a las dosis para las personas cuando haya una emisión significativa de material radiactivo.

## 2.2. ACTIVIDAD EMITIDA

Los cuatro niveles superiores de la escala (niveles 4 a 7) incluyen una definición en cuanto a la cantidad de actividad emitida, que define su magnitud por su equivalencia radiológica a un cierto número de terabecquerels de  $^{131}\text{I}$ . (El método de cálculo de la equivalencia radiológica se da en la sección 2.2.1). La elección de este isótopo es un tanto arbitraria. Se utilizó porque la escala se desarrolló inicialmente para centrales nucleares y el  $^{131}\text{I}$  sería generalmente uno de los isótopos más importantes emitidos.

El motivo por el que se usa la cantidad emitida en lugar de la dosis estimada es que cuando se trata de estas emisiones mayores, la dosis real recibida dependerá considerablemente de las medidas protectoras aplicadas y de otras condiciones medioambientales. Si las medidas protectoras tienen éxito, las dosis recibidas no aumentarán en proporción con la cantidad emitida.

### 2.2.1. Métodos para estimar las emisiones

Se proporcionan dos métodos para estimar la importancia radiológica de una emisión según el origen de la emisión y, por tanto, de los supuestos más adecuados para calcular la equivalencia de las emisiones. Si se produce una emisión a la atmósfera desde una instalación nuclear, como un reactor o una instalación del ciclo del combustible, el cuadro 2 da los factores de conversión que deben emplearse para la equivalencia radiológica al  $^{131}\text{I}$ . La actividad real del isótopo emitido debe multiplicarse por el factor facilitado en el cuadro 2 y, a continuación, compararse con los valores que figuran en la definición de cada nivel. Si se emitiesen varios isótopos, se debería calcular el valor equivalente para cada uno y luego sumarlos todos (véanse los ejemplos 5 a 7). En el apéndice I se explica cómo se obtienen estos factores.

Si la emisión se produce durante el transporte de materiales radiactivos o debido al uso de fuentes de radiación, deben utilizarse los valores  $D_2$ . Los valores  $D$  están un nivel de actividad por encima del nivel en el que una fuente se considera “peligrosa” y tiene posibilidades importantes de causar graves efectos deterministas si no se gestiona de forma tecnológica y físicamente segura. El valor  $D_2$  es la actividad de un radionucleido en una fuente que, si no se controla y

## CUADRO 2. EQUIVALENCIA RADIOLÓGICA AL $^{131}\text{I}$ PARA LAS EMISIONES A LA ATMÓSFERA

Isótopo	Factor de multiplicación
Am 241	8 000
Co 60	50
Cs 134	3
Cs 137	40
H 3	0,02
I 131	1
Ir 192	2
Mn 54	4
Mo 99	0,08
P 32	0.2
Pu 239	10 000
Ru 106	6
Sr 90	20
Te 132	0,3
U 235(L)a	1 000
U 235(I)a	600
U 235(R)a	500
U 238(L)a	900
U 238(I)a	600
U 238(R)a	400
U nat	1 000
Gases nobles	Despreciable (realmente 0)

<sup>a</sup> Tipos de absorción por los pulmones: L – lenta; I – intermedia; R – rápida. En caso de duda, utilícese el valor más conservador.

llega a dispersarse, podría dar origen a una emergencia de la que se podría razonablemente esperar que produjera graves efectos deterministas en la salud [5]. En el apéndice III se enumeran los valores  $D_2$  para una serie de isótopos.

En el caso de sucesos con emisiones que no quedan suspendidas en el aire (por ejemplo, emisiones acuáticas o contaminación del suelo debida al derrame de material radiactivo), la clasificación basada en la dosis debe establecerse utilizando la sección 2.3. Las descargas líquidas que originen dosis

considerablemente más elevadas que las adecuadas para el nivel 3 deberían considerarse de nivel 4 o superior, pero el cálculo de la equivalencia radiológica sería específico para el emplazamiento y, por consiguiente, no pueden darse aquí orientaciones detalladas al respecto.

### 2.2.2. Definiciones de niveles en función de la actividad emitida<sup>2</sup>

#### *Nivel 7*

*“Suceso que tiene como resultado una emisión medioambiental correspondiente a una cantidad de radiactividad radiológicamente equivalente a una emisión a la atmósfera de más de varias decenas de miles de terabecquerels de  $^{131}\text{I}$ .”*

Esto corresponde a una gran parte del inventario del núcleo de un reactor de potencia, lo que normalmente supone una mezcla de radionucleidos de período corto y largo. Con una emisión de este tipo, se prevé que se produzcan efectos estocásticos en la salud en una amplia zona, quizás en más de un país, y existe la posibilidad de que haya efectos deterministas en la salud. Es también probable que haya consecuencias medioambientales a largo plazo, y es muy probable que se juzguen necesarias medidas protectoras como la protección en refugios y la evacuación para evitar o limitar los efectos en la salud de los miembros de la población.

#### *Nivel 6*

*“Suceso que tiene como resultado una emisión medioambiental correspondiente a una cantidad de radiactividad radiológicamente equivalente a una emisión a la atmósfera del orden de miles a decenas de miles de terabecquerels de  $^{131}\text{I}$ .”*

Ante una emisión así, es muy probable que se consideren necesarias medidas protectoras como la protección en refugios y la evacuación para evitar o limitar los efectos en la salud de los miembros de la población.

---

<sup>2</sup> Estos criterios se refieren a accidentes en los que las primeras estimaciones de la magnitud de la emisión solo pueden ser aproximadas. Por esa razón no conviene usar valores numéricos precisos en las definiciones de los niveles. No obstante, para ayudar a garantizar una interpretación coherente de estos criterios a escala internacional, se sugiere que los límites entre los niveles sean aproximadamente 500, 5 000 y 50 000 TBq de  $^{131}\text{I}$ .

## Nivel 5

*“Suceso que tiene como resultado una emisión medioambiental correspondiente a una cantidad de radiactividad radiológicamente equivalente a una emisión a la atmósfera del orden de cientos a miles de terabecquerels de  $^{131}\text{I}$ .”*

o

*“Suceso que tiene como resultado una emisión dispersa de actividad procedente de una fuente radiactiva con una actividad superior a 2 500 veces el valor  $D_2$  para los isótopos emitidos.”*

Como consecuencia de la emisión real, es probable que se precisen algunas medidas protectoras (por ejemplo, la protección en refugios localizados y/o la evacuación para evitar o reducir al mínimo la probabilidad de que se produzcan efectos en la salud).

## Nivel 4

*“Suceso que tiene como resultado una emisión medioambiental correspondiente a una cantidad de radiactividad radiológicamente equivalente a una emisión a la atmósfera del orden de decenas a cientos de terabecquerels de  $^{131}\text{I}$ .”*

o

*“Suceso que tiene como resultado una emisión dispersa de actividad procedente de una fuente radiactiva con una actividad superior a 250 veces el valor  $D_2$  para los isótopos emitidos.”*

En el caso de una emisión así, es probable que no sea necesaria la adopción de medidas protectoras distintas de controles de los alimentos locales.

## 2.3. DOSIS A LAS PERSONAS

El criterio más sencillo es el de la dosis recibida como resultado del suceso, y los niveles 1 a 6 incluyen una definición basada en ese criterio<sup>3</sup>. A menos que se

---

<sup>3</sup> Las definiciones del nivel 1 se basan en los criterios de la defensa en profundidad explicados en las secciones 4 a 6, pero se incluyen aquí con fines de exhaustividad.

indique explícitamente (véanse los criterios del nivel 1<sup>3</sup>), son de aplicación a dosis que fueron recibidas, o que pudieron haberlo sido fácilmente<sup>4</sup>, a partir del suceso único que se está clasificando (es decir, excluyendo la exposición acumulativa). Definen una clasificación mínima si una persona se ve expuesta por encima de los criterios dados (sección 2.3.1) y una clasificación más elevada si más personas se ven expuestas por encima de esos criterios (sección 2.3.2).

### **2.3.1. Criterios para estimar la clasificación mínima cuando resulta expuesta una persona**

El nivel 4 es el nivel mínimo para sucesos que dan origen a:

- 1) *“Un efecto determinista letal;*  
o
- 2) *La probabilidad de un efecto determinista letal de resultados de una exposición al cuerpo entero que da lugar a una dosis absorbida<sup>5</sup> del orden de unos pocos Gy”.*

En el apéndice II se presenta más información detallada sobre la probabilidad de que haya efectos deterministas mortales y los umbrales para efectos deterministas no letales.

El nivel 3 es el nivel mínimo para sucesos que dan origen a:

- 1) *“Un efecto determinista no letal o la probabilidad de ese efecto (en el apéndice II figura más información detallada);*  
o
- 2) *La exposición que da lugar a una dosis efectiva superior a diez veces el límite de dosis al cuerpo entero reglamentario anual para trabajadores”.*

---

<sup>4</sup> No se pretende aquí inventar escenarios distintos del que se produjo, sino considerar las dosis que, desde un punto de vista razonable, pueden haber tenido lugar sin que se sepa. Por ejemplo, si una fuente radiactiva ha quedado separada de su blindaje y ha sido transportada, deben estimarse las dosis a los conductores y a las personas que han manipulado los bultos.

<sup>5</sup> Cuando la radiación de alta transferencia lineal de energía (LET) sea significativa, la dosis absorbida debe tomar en consideración la eficacia biológica relativa (EBR) adecuada. La dosis absorbida ponderada con la EBR debe utilizarse para determinar la clasificación INES apropiada.

El nivel 2 es el nivel mínimo para sucesos que dan origen a:

- 1) *“La exposición de un miembro de la población que da lugar a una dosis efectiva superior a 10 mSv;*  
o
- 2) *La exposición de un trabajador por encima de los límites de dosis reglamentarios anuales<sup>6</sup>.”*

El nivel 1<sup>3</sup> es el nivel mínimo para sucesos que dan origen a:

- 1) *“La exposición de un miembro de la población por encima de los límites de dosis reglamentarios anuales<sup>6</sup>;*  
o
- 2) *La exposición de un trabajador por encima de las restricciones de dosis<sup>7</sup>;*  
o
- 3) *La exposición acumulada de un trabajador o un miembro de la población por encima de los límites de dosis reglamentarios anuales<sup>6</sup>”.*

### **2.3.2. Criterios para el estudio del número de personas expuestas**

Si más de una persona ha estado expuesta, debe estimarse el número de personas que corresponde a cada uno de los niveles definidos en la sección 2.3.1 y deben emplearse en cada caso las orientaciones que figuran en los siguientes párrafos para incrementar la clasificación, según convenga.

En el caso de exposiciones que no ocasionen o que sea poco probable que ocasionen un efecto determinista, la clasificación mínima calculada en la sección 2.3.1 debe aumentarse en un nivel si 10 o más personas reciben dosis por encima del valor definido para el nivel, y en dos niveles si las dosis son recibidas por 100 o más personas.

En el caso de exposiciones que hayan ocasionado o que sea probable que ocasionen efectos deterministas, se adopta un enfoque más prudente, y la clasificación debe aumentarse en un nivel si varias personas reciben dosis por encima del valor definido para el nivel, y en dos niveles si las dosis son recibidas por algunas decenas de personas<sup>8</sup>.

---

<sup>6</sup> Los límites de dosis que se debe tener en cuenta son todos los límites de dosis reglamentarios, incluidas la dosis efectiva a todo el cuerpo, las dosis a la piel, las dosis a las extremidades y las dosis a la lente del ojo.

<sup>7</sup> La restricción de la dosis es un valor por debajo del límite de dosis reglamentario que el país puede establecer.

En la sección 2.3.4 se presenta un cuadro resumen de los criterios que figuran en esta sección y en la anterior.

Cuando una serie de personas se ven expuestas a distintos niveles, la clasificación del suceso es el mayor de los valores obtenidos del proceso descrito. Por ejemplo, si se trata de un evento cuya consecuencia es que 15 miembros del público reciben una dosis efectiva de 20 mSv, la clasificación mínima aplicable a esa dosis es el nivel 2. Teniendo en cuenta que el número de personas expuestas (15) da lugar a un incremento de un nivel, la clasificación correspondería al nivel 3. Sin embargo, si solo un miembro del público recibió una dosis efectiva de 20 mSv y 14 recibieron dosis efectivas de entre 1 y 10 mSv, la clasificación basada en quienes recibieron una dosis efectiva de 20 mSv sería el nivel 2 (clasificación mínima, sin aumento, ya que solo hay una persona afectada) y la clasificación basada en quienes recibieron una dosis efectiva de más de 1 pero menos de 10 mSv sería el nivel 2 (clasificación mínima de nivel 1, incrementada en uno, ya que hubo exposición de más de 10 personas). Por tanto, la clasificación global correspondería al nivel 2.

### **2.3.3. Metodología para la estimación de dosis**

La metodología para la estimación de dosis a los trabajadores y a la población debe ser realista y seguir los supuestos nacionales estándar para la estimación de dosis, que debe basarse en el escenario real, con inclusión de cualquier medida protectora adoptada.

Si es imposible saber con certeza si personas concretas recibieron una dosis (por ejemplo, debido a un bulto de transporte sobre el que se descubra posteriormente que tiene un blindaje inadecuado), deben estimarse las dosis probables y asignarse el nivel en la escala INES sobre la base de una reconstrucción del escenario más probable.

### **2.3.4. Resumen**

Las orientaciones de la sección 2.3 se resumen en el cuadro 3, que muestra cómo se tiene en cuenta el nivel de dosis y el número de personas expuestas.

---

<sup>8</sup> Como orientación para ayudar a tener un enfoque coherente en la aplicación de estos criterios, puede considerarse que “varios” es más de tres, y “algunas decenas” es más de 30. (Estos valores corresponden aproximadamente a la mitad de un orden de magnitud en base logarítmica.)

### CUADRO 3. RESUMEN DE LAS CLASIFICACIONES BASADAS EN LAS DOSIS A LAS PERSONAS

Nivel de exposición	Clasificación mínima	Número de personas	Clasificación real
Efecto determinista letal o Probabilidad de un efecto determinista letal de resultados de una dosis absorbida en todo el cuerpo del orden de unos pocos Gy	4	Algunas decenas o más Entre varias y algunas decenas Menos que varias decenas	6 <sup>a</sup> 5 4
Efecto determinista no letal o probabilidad de ese efecto	3	Algunas decenas o más Entre varias y algunas decenas Menos que varias decenas	5 4 3
Exposición que da lugar a una dosis efectiva superior a diez veces el límite de dosis al cuerpo entero reglamentario anual para trabajadores	3	100 o más 10 o más Menos de 10	5 4 3
Exposición de un miembro de la población que da lugar a una dosis efectiva superior a 10 mSv o Exposición de un trabajador por encima de los límites de dosis reglamentarios anuales	2	100 o más 10 o más Menos de 10	4 3 2
Exposición de un miembro de la población por encima de los límites de dosis reglamentarios anuales o Exposición de un trabajador por encima de las restricciones de dosis	1	100 o más 10 o más Menos de 10	3 2 1 <sup>b</sup>
Exposición acumulada de los trabajadores o de los miembros de la población por encima de los límites de dosis reglamentarios anuales	1	1 o más	1 <sup>b</sup>

<sup>a</sup> El nivel 6 no se considera creíble para los sucesos relacionados con fuentes de radiación.

<sup>b</sup> Como se explicó en la sección 2.3, las definiciones del nivel 1 se basan en los criterios de defensa en profundidad explicados en las secciones 4 a 6, pero se incluyen aquí con fines de exhaustividad.

2.4. EJEMPLOS PRÁCTICOS

Estos ejemplos tienen como finalidad ilustrar las orientaciones relativas a la clasificación contenidas en esta sección del manual. Los ejemplos se basan en sucesos reales, pero han sido ligeramente modificados para ilustrar el uso de diferentes partes de las orientaciones. La clasificación obtenida en esta sección no es forzosamente la clasificación definitiva ya que sería necesario tener en cuenta los criterios de las secciones 3 a 6 antes de definir dicha clasificación definitiva.

**Ejemplo 1. Sobreexposición de un electricista en un hospital – Nivel 2**

*Descripción del suceso*

Una persona de mantenimiento estaba instalando y ajustando un nuevo aparato de radioterapia en un hospital y no estaba al tanto de que un electricista estaba trabajando encima del techo. Sometió el aparato a ensayo, apuntado el haz de radiación hacia el techo, y probablemente el electricista se vio expuesto. El intervalo estimado de exposición del cuerpo entero se situó entre 80 y 100 mSv de dosis efectiva. Aunque el electricista no presentaba síntoma alguno, se le practicó un análisis de sangre como medida de precaución. Como era de esperar para este nivel de dosis, el análisis de sangre dio negativo.

*Explicación de la clasificación*

Criterios	Explicación
2.2.1. Actividad emitida	No procede. No hubo emisión.
2.3. Dosis a personas	Una persona (que no era un trabajador profesionalmente expuesto) recibió una dosis efectiva superior a 10 mSv pero inferior a “diez veces el límite de dosis de cuerpo entero reglamentario anual para trabajadores”. No se produjeron efectos deterministas en la salud. Clasificación de nivel 2.
Clasificación en función del efecto en las personas y el medio ambiente.	Nivel 2.

**Ejemplo 2. Sobreexposición de un radiólogo – Nivel 2**

*Descripción del suceso*

Un radiólogo estaba desconectando el tubo guía de la fuente de una cámara radiográfica cuando advirtió que la fuente no se encontraba en la posición totalmente blindada. El dispositivo de exposición contenía una fuente sellada de <sup>192</sup>Ir de 807 GBq. El radiólogo se dio cuenta de que su cámara de ionización de bolsillo estaba fuera de escala y lo notificó al oficial de seguridad radiológica (OSR) de la empresa. Como los dosímetros de extremidades no se utilizan habitualmente durante las operaciones radiográficas, el OSR realizó una reconstrucción de la dosis. Sobre la base de esa reconstrucción, un individuo puede haber recibido una dosis en las extremidades del orden de 3,3 a 3,6 Gy, lo cual está por encima del límite de dosis reglamentario anual de 500 mSv para la piel o las extremidades. Los resultados dosimétricos de cuerpo entero revelaron que el radiólogo recibió una dosis al cuerpo entero de aproximadamente 2 mSv. El radiólogo fue ingresado en el hospital para ser sometido a observación y fue dado de alta más tarde. No se observaron efectos deterministas.

La información obtenida posteriormente indicó que la persona llevaba su dosímetro en la cadera y que su cuerpo podría haber actuado como protección del dosímetro.

*Explicación de la clasificación*

Criterios	Explicación
2.2. Actividad emitida	No procede. No hubo emisión.
2.3. Dosis a personas	Un trabajador recibió una dosis superior al límite anual. No se observaron efectos deterministas, ni se preveía observarlos. Nivel 2 (incluso tomando en consideración el posible apantallamiento del dosímetro, la dosis efectiva estuvo muy por debajo de los criterios para el nivel 3).
Clasificación en función del efecto en las personas y el medio ambiente.	Nivel 2.

**Ejemplo 3. Sobreexposición de un radiólogo industrial – Nivel 3**

*Descripción del suceso*

Tres trabajadores estaban realizando radiografías industriales con una fuente de <sup>192</sup>Ir de 3,3 TBq en una plataforma torre de 22,5 m de altura. Por algún motivo, la fuente de <sup>192</sup>Ir (latiguillo) no estaba conectada (o nunca lo estuvo) al accionador. Al final del trabajo, uno de los trabajadores desconectó el tubo guía y la fuente cayó a la plataforma sin que nadie se diese cuenta (no se usaron detectores de radiación ni dosímetros de bolsillo). Los trabajadores abandonaron el lugar de trabajo, y la siguiente noche (23.00 horas) un empleado encontró la fuente y trató de identificarla. Le mostró la fuente a otro empleado, el cual observó que el primer empleado tenía la mejilla hinchada. El primer empleado dio la fuente a su colega y bajó a lavarse la cara. El segundo empleado bajó la torre llevando la fuente en la mano. Cuando los dos empleados decidieron entregar la fuente a su supervisor en su oficina, el dosímetro de alarma de un trabajador de otra empresa comenzó a sonar indicando la presencia de un campo de alta radiación. La fuente fue identificada y se indicó a los empleados que el trozo de metal era una fuente radiactiva peligrosa y que la guardasen inmediatamente. Colocaron la fuente en una tubería y se contactó con el dueño de la empresa, tras lo cual se recuperó la fuente. El tiempo transcurrido entre que se determinó que la fuente era radiactiva y la recuperación de la misma fue de una media hora. Se envió a los tres miembros del equipo de construcción a un examen médico (incluido un examen citogenético) y fueron ingresados en un hospital. Uno de ellos presentó algunos efectos deterministas (quemaduras graves por radiación en una mano). A cinco empleados de la empresa de radiografía industrial se les tomaron muestras de sangre para su análisis en un laboratorio citogenético, aunque no se observaron anomalías.

*Explicación de la clasificación*

Criterios		Explicación
2.2. Actividad emitida		No procede.
2.3. Dosis a personas		Una persona presentó efectos deterministas por la radiación. Esto da una clasificación de nivel 3.
Clasificación en función del efecto en las personas y el medio ambiente.		Nivel 3.

#### **Ejemplo 4. Disgregación de una fuente muy activa abandonada – Nivel 5**

##### *Descripción del suceso*

Un instituto privado de radioterapia se trasladó a sus nuevas instalaciones, llevándose una unidad de teleterapia de  $^{60}\text{Co}$  y dejando una unidad de teleterapia de  $^{137}\text{Cs}$  de 51 TBq. No se notificó esta cuestión a la autoridad encargada de conceder licencias, como era preceptivo según lo establecido en la licencia del instituto. Posteriormente, las antiguas instalaciones se demolieron parcialmente. Como consecuencia de esto, la unidad de teleterapia de  $^{137}\text{Cs}$  se volvió totalmente insegura. Dos personas entraron en el edificio y, sin saber qué era la unidad, pero pensando que podía tener algún valor como chatarra, sacaron el conjunto fuente de la máquina. Se lo llevaron a casa e intentaron desmontarlo. Durante el intento, la cápsula de la fuente se rompió. La fuente radiactiva era sal de cloruro de cesio, que es muy soluble y se dispersa fácilmente. Como resultado, varias personas se vieron contaminadas e irradiadas.

Tras la rotura de la cápsula de la fuente, los restos del conjunto fuente se vendieron como chatarra al dueño de una chatarrería, que advirtió que el material de la fuente emitía un brillo azul en la oscuridad. Varias personas quedaron fascinadas y durante varios días amigos y familiares fueron a ver el fenómeno. Se repartieron entre varias familias fragmentos de la fuente del tamaño de granos de arroz. Esto prosiguió durante cinco días, momento en el que varias personas presentaron síntomas gastrointestinales a raíz de su exposición a la radiación de la fuente. Al principio nadie se dio cuenta de que los síntomas eran debidos a la irradiación. Sin embargo, una de las personas irradiadas estableció la relación entre las enfermedades y la cápsula de la fuente y llevó los restos al departamento de salud pública de la ciudad.

Esta acción inició una cadena de hechos que dio lugar al descubrimiento del accidente. Un físico local fue el primero en monitorizar y evaluar la escala del accidente y adoptó medidas por cuenta propia para evacuar dos zonas. Al mismo tiempo se informó a las autoridades, tras lo cual la celeridad y la escala de la respuesta fueron admirables. Se identificaron rápidamente varios otros lugares con contaminación importante y se evacuó a los residentes. Como consecuencia del suceso, ocho personas desarrollaron el síndrome agudo de radiación y cuatro personas murieron por la exposición a la radiación.

## Explicación de la clasificación

Criterios	Explicación
2.2. Actividad emitida	La fuente fue disgregada y, por tanto, la mayor parte de la actividad se emitió al medio ambiente. El valor $D_2$ para el $^{137}\text{Cs}$ según el apéndice III es 20 TBq, de modo que la emisión fue aproximadamente 2,5 veces el valor D, que se sitúa muy por debajo del valor para el nivel 4 “mayor que 250 veces el valor $D_2$ ”.
2.3. Dosis a personas	Una sola muerte por radiación se consideraría de nivel 4. Dado que murieron cuatro personas, la clasificación debería incrementarse en uno.
Clasificación en función del efecto en las personas y el medio ambiente.	Nivel 5.

## Ejemplo 5. Liberación de yodo 131 de un reactor – Nivel 5

### Descripción del suceso

El moderador de grafito de un reactor para producción de plutonio refrigerado por aire se incendió, lo que originó una emisión importante de material radiactivo. El fuego comenzó durante el proceso de recocido de la estructura de grafito. Durante el funcionamiento normal, los neutrones que chocan contra el grafito producen la deformación de la estructura cristalina de éste. Esta deformación da lugar a una acumulación de energía almacenada en el grafito. Se utilizó un proceso controlado de recocido por calentamiento para restablecer la estructura del grafito y liberar la energía almacenada. Lamentablemente, en este caso se liberó demasiada energía y el combustible resultó dañado. El combustible de uranio metálico y el grafito reaccionaron luego con el aire y empezaron a arder. El primer indicio de una situación anómala fue proporcionado por tomadores de muestras de aire que estaban a unos 800 m. Los niveles de radiactividad fueron 10 veces mayores a lo que normalmente se encuentra en el aire.

Un muestreo más cerca del edificio del reactor confirmó que se estaban produciendo emisiones de radiactividad. La inspección del núcleo indicó que los elementos combustibles en aproximadamente 150 canales estaban sobrecalentados. Tras varias horas de intentos con distintos métodos, se logró apagar el incendio mediante una combinación de inundación por agua y desconexión de los ventiladores de refrigeración del aire forzado. La central se

enfrió. Se estimó que la cantidad de actividad emitida se situaba entre 500 y 700 TBq de <sup>131</sup>I y entre 20 y 40 TBq de <sup>137</sup>Cs. No hubo efectos deterministas y nadie recibió una dosis cercana a diez veces el límite de dosis de cuerpo entero reglamentario anual para los trabajadores.

*Explicación de la clasificación*

Criterios	Explicación
2.2. Actividad emitida	El factor para la equivalencia radiológica del <sup>137</sup> Cs en el cuadro 2 es 40, así que la emisión total fue radiológicamente equivalente a entre 1 300 y 2 300 TBq de <sup>131</sup> I. Como el límite superior está muy por debajo de 5 000 TBq, el suceso tiene categoría de nivel 5, “equivalente a entre cientos y miles de TBq de <sup>131</sup> I”.
2.3. Dosis a personas	No procede. Las dosis individuales reales no se facilitan, pero como nadie recibió dosis próximas a los criterios del nivel 3, los criterios de dosis individual no pueden dar lugar a una clasificación más alta que la ya obtenida a partir de los criterios relativos a la emisión de gran magnitud.
Clasificación en función del efecto en las personas y el medio ambiente.	Nivel 5.

**Ejemplo 6. Sobrecalentamiento de un tanque de almacenamiento de desechos de alta actividad en una instalación de reprocesamiento – Nivel 6**

*Descripción del suceso*

El sistema de refrigeración de un tanque de almacenamiento de desechos de alta actividad se averió, lo que ocasionó un aumento de temperatura del contenido del tanque. La posterior explosión de sales secas de nitrato y acetato tuvo una potencia equivalente a 75 toneladas de TNT. La tapa de hormigón de 2,5 m de grosor fue lanzada a una distancia de 30 m. Se tomaron medidas de emergencia, incluida la evacuación, para limitar los efectos graves en la salud.

Los componentes más importantes de la emisión fueron 1 000 TBq de <sup>90</sup>Sr y 13 TBq de <sup>137</sup>Cs. Una gran superficie, de 300 × 50 km, quedó contaminada con más de 4 kBq/m<sup>2</sup> de <sup>90</sup>Sr.

*Explicación de la clasificación*

Criterios	Explicación
2.2. Actividad emitida	Los factores para la equivalencia radiológica del $^{90}\text{Sr}$ y el $^{137}\text{Cs}$ del cuadro 2 son 20 y 40, respectivamente, así que la emisión total fue radiológicamente equivalente a 20 500 TBq de $^{131}\text{I}$ . Esto se clasifica como nivel 6, “equivalente a entre miles y decenas de miles de TBq de $^{131}\text{I}$ ”.
2.3. Dosis a personas	No es necesario tenerlas en cuenta, puesto que el suceso ya tiene categoría de nivel 6.
Clasificación en función del efecto en las personas y el medio ambiente	Nivel 6.

**Ejemplo 7. Emisión importante de actividad tras un accidente de criticidad y un incendio – Nivel 7**

*Descripción del suceso*

Algunos puntos débiles del diseño y un ensayo mal planificado y realizado ocasionaron que un reactor alcanzara la supercriticidad. Se intentó parar el reactor, pero se produjo un pico de energía y algunas barras de combustible comenzaron a partirse, lo que colocó fragmentos de las barras de combustible en línea con las columnas de barras de control. Las barras quedaron atascadas tras insertarse solo a una tercera parte de ellas y fueron por tanto incapaces de detener la reacción. La potencia del reactor subió a unos 30 GW, diez veces la potencia de explotación normal. Las barras de combustible comenzaron a fundirse, y la presión de vapor aumentó rápidamente, provocando una gran explosión de vapor. El vapor generado viajó verticalmente a lo largo de los canales de las barras en el reactor, desplazando y destrozando la tapa del reactor, rompiendo los tubos de refrigerante y haciendo luego un boquete en el tejado. Después de que reventase parte del tejado, la entrada de oxígeno, junto con la temperatura extremadamente alta del combustible y del moderador de grafito en el reactor, desencadenó un incendio de grafito. Este incendio contribuyó de manera importante a la diseminación de material radiactivo y a la contaminación de las zonas circundantes.

La emisión total de material radiactivo fue aproximadamente de 14 millones de TBq, que incluían 1,8 millones de TBq de  $^{131}\text{I}$ , 85 000 TBq de  $^{137}\text{Cs}$  y otros radioisótopos de cesio, 10 000 TBq de  $^{90}\text{Sr}$  y varios otros isótopos significativos.

### *Explicación de la clasificación*

Criterios	Explicación
2.2. Actividad emitida	Los factores para la equivalencia radiológica del $^{90}\text{Sr}$ y el $^{137}\text{Cs}$ del cuadro 2 son 20 y 40, respectivamente, así que la emisión total fue radiológicamente equivalente a 5,4 millones de TBq de $^{131}\text{I}$ . Esto se considera el nivel más alto en la escala, el nivel 7, “equivalente a más de varias decenas de miles de TBq de $^{131}\text{I}$ ”. Aunque es posible que hubiese presencia de otros isótopos, no es necesario incluirlos en el cálculo puesto que los isótopos mencionados ya son equivalentes a una emisión de nivel 7.
2.3. Dosis a personas	No es necesario tenerlas en cuenta puesto que el suceso ya tiene categoría de nivel 7.
Clasificación en función del efecto en las personas y el medio ambiente	Nivel 7.

### **3. EFECTO EN LAS BARRERAS Y LOS CONTROLES RADIOLÓGICOS EN LAS INSTALACIONES**

#### **3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL**

Las orientaciones de esta sección son aplicables únicamente a sucesos que se produzcan dentro de instalaciones autorizadas en las que se hayan definido claramente unos límites del emplazamiento como parte de la concesión de licencia. Solo son aplicables a grandes instalaciones en las que existe la posibilidad (independientemente de que sea poco probable) de una emisión de material radiactivo que pudiera considerarse de nivel 5 o superior.

Cada suceso ha de examinarse de acuerdo con los criterios relativos al efecto en las personas y el medio ambiente y con los criterios relativos al efecto en la defensa en profundidad, y se podría argumentar que esos dos conjuntos de criterios abarcan todas las cuestiones que se deben abordar al clasificar un suceso. Si se hiciera esto, sin embargo, habría dos tipos fundamentales de sucesos que no se clasificarían en un nivel acorde con su importancia.

El primer tipo de suceso es aquél en el que se producen daños importantes a las barreras primarias, las cuales evitan que haya grandes emisiones (por ejemplo, una fusión del núcleo del reactor o una pérdida de confinamiento de cantidades muy grandes de material radiactivo en una instalación de reprocesamiento de combustible nuclear). En este tipo de suceso, la principal protección de diseño ha fallado, y las únicas barreras que evitan que se produzca una emisión muy grande son los sistemas de contención restantes. Sin criterios específicos para tratar estos sucesos, se considerarían solo de nivel 3 desde el punto de vista de la defensa en profundidad, el mismo nivel que un cuasi accidente sin redundancia pendiente de aplicación. Los criterios para el nivel 4 y el nivel 5 tratan específicamente esta situación.

El segundo tipo de suceso es aquél en el que las barreras primarias que evitan que haya una gran emisión permanecen intactas, pero se produce un derrame importante de materiales radiactivos o un aumento significativo de la tasa de dosis en instalaciones donde se manipulan grandes cantidades de material radiactivo. Esos sucesos bien podrían tener categoría de nivel 1 desde el punto de vista de la defensa en profundidad debido al gran número de barreras que seguirían existiendo. No obstante, estos sucesos representan un fallo grave de los controles de gestión para la manipulación de material radiactivo y, por tanto, indican por sí mismos un riesgo subyacente de sucesos con un efecto importante en las personas y el medio ambiente. Los criterios para los niveles 2 y 3 abordan específicamente este segundo tipo de suceso.

La importancia de la contaminación se mide bien por la cantidad de actividad diseminada, bien por la tasa de dosis resultante. Estos criterios están relacionados con las tasas de dosis en una zona de operación, pero no requieren la presencia de ningún trabajador. No deben confundirse con los criterios relativos a las dosis a los trabajadores de la sección 2.3, que guardan relación con las dosis recibidas efectivamente.

Los niveles de contaminación por debajo del valor correspondiente al nivel 2 se consideran insignificantes para clasificar un suceso en función de este criterio; a estos niveles más bajos, solo ha de considerarse el efecto en la defensa en profundidad.

Se acepta que la naturaleza exacta del daño y/o la contaminación pueden no conocerse durante un tiempo tras un suceso con consecuencias de esta naturaleza. Sin embargo, debería ser posible realizar una estimación aproximada a fin de decidir una clasificación provisional apropiada en el formulario de clasificación de sucesos. Es posible que una nueva evaluación posterior de la situación haga necesaria una nueva clasificación del suceso.

Los criterios relativos a las personas y el medio ambiente (sección 2) y a la defensa en profundidad (secciones 4, 5 y 6) también se deben tener en cuenta en relación con todos los sucesos, ya que pueden dar lugar a una clasificación más alta.

### 3.2. DEFINICIÓN DE LOS NIVELES

#### *Nivel 5*

#### **Para sucesos relacionados con el combustible del reactor (incluidos los reactores de investigación):**

*“Suceso que da por resultado la fusión de más del equivalente de un pequeño porcentaje del combustible de un reactor de potencia o la emisión<sup>9</sup> de más de un pequeño porcentaje del inventario del núcleo de un reactor de potencia procedente de los conjuntos combustibles<sup>10</sup>.”*

---

<sup>9</sup> El término emisión se emplea aquí para describir el desplazamiento de material radiactivo desde el lugar donde se prevé que esté pero aún contenido dentro de los límites de la instalación.

<sup>10</sup> Dado que el alcance de los daños al combustible no es fácilmente medible, las compañías eléctricas y los organismos reguladores deberían establecer criterios específicos para cada central expresados desde el punto de vista de los síntomas (por ejemplo, concentración de actividad en el refrigerante primario, monitorización radiológica en el edificio de contención) para facilitar la pronta clasificación de sucesos en los que el combustible sufre daños.

La definición se basa en el inventario total del núcleo de un reactor de potencia, no solo en los productos de fisión gaseosos libres (el “inventario del huelgo”). Esa cantidad requiere una emisión significativa desde la matriz del combustible así como desde el inventario del huelgo. Cabe señalar que la clasificación basada en los daños al combustible no depende del estado del circuito primario.

En el caso de los reactores de investigación, la fracción de combustible afectado debe basarse en las cantidades de un reactor de potencia de 3 000 MW (t).

#### **Para otras instalaciones:**

*“Suceso que tiene como resultado una emisión<sup>9</sup> importante de material radiactivo en la instalación (comparable a la emisión de una fusión del reactor) con una elevada probabilidad de sobreexposición significativa<sup>11</sup>.”*

Ejemplos de accidentes no relacionados con un reactor serían un accidente grave de criticidad o un incendio o explosión importante con emisión de grandes cantidades de material radiactivo dentro de la instalación.

#### *Nivel 4*

#### **Para sucesos relacionados con el combustible del reactor (incluidos los reactores de investigación):**

*“Suceso que da por resultado la emisión<sup>9</sup> de más de aproximadamente el 0,1% del inventario del núcleo de un reactor de potencia desde los conjuntos combustibles<sup>10</sup>, debido a la fusión del combustible y/o a un fallo de la vaina.”*

De nuevo esta definición se basa en el inventario total del núcleo, no solo en el “inventario del huelgo”, y no depende del estado del circuito primario. Una emisión de más del 0,1% del inventario total del núcleo podría producirse si se da la fusión del combustible junto con un fallo de vaina, o si se producen daños a una parte importante (~10%) de las vainas, liberándose así el “inventario del huelgo”.

En el caso de los reactores de investigación, la fracción de combustible afectado debe basarse en las cantidades de un reactor de potencia de 3 000 MW (t).

Los daños al combustible o la degradación que no ocasionen la emisión de más del 0,1% del inventario del núcleo de un reactor de potencia (por ejemplo,

---

<sup>11</sup> Una ‘elevada probabilidad’ implica una probabilidad similar a la de una emisión de la contención tras un accidente del reactor.

una fusión muy localizada o una pequeña cantidad de daños a la vaina) deben considerarse “Debajo de la escala / Nivel 0” según este criterio y, a continuación, ser examinados según los criterios de la defensa en profundidad.

### **Para otras instalaciones:**

*“Suceso que supone la emisión<sup>9</sup> de algunos miles de terabecquerels de actividad de su contención primaria<sup>12</sup> con una probabilidad elevada de sobreexposición significativa del público<sup>11</sup>.”*

### *Nivel 3*

*“Suceso que da lugar a la emisión<sup>9</sup> de algunos miles de terabecquerels de actividad en una zona no prevista en el diseño<sup>13</sup>, que requiere la adopción de medidas correctoras incluso aunque haya una probabilidad muy reducida de sobreexposición significativa del público.”*

o

*“Suceso que da lugar a la suma de tasas de dosis gama y neutrónica de más de 1 Sv por hora en una zona de explotación<sup>14</sup> (tasa de dosis medida a 1 metro de la fuente).”*

---

<sup>12</sup> En este contexto, las expresiones contención primaria y contención secundaria se refieren a la contención de materiales radiactivos en instalaciones distintas de reactores y no deben confundirse con las expresiones similares empleadas para contenciones de reactor.

<sup>13</sup> Las zonas no previstas en el diseño son aquellas cuya base de diseño, tanto para estructuras permanentes como provisionales, no presupone que, durante la operación o tras un incidente, la zona pueda recibir y conservar el nivel de contaminación que se ha producido y evitar la propagación de la contaminación más allá de la zona. Algunos ejemplos de sucesos que suponen la contaminación de zonas no previstas en el diseño son:

- La contaminación por material radiactivo fuera de las zonas controladas o supervisadas en las que normalmente ese material no está presente, por ejemplo, suelos, escaleras, edificios auxiliares y zonas de almacenamiento.
- La contaminación por plutonio o productos de fisión muy radiactivos de una zona diseñada y equipada únicamente para la manipulación de uranio.

<sup>14</sup> Las zonas de explotación son zonas a las que está permitido el acceso de los trabajadores sin permisos específicos. Se excluyen las zonas en las que se requieren controles específicos (más que la necesidad general de un dosímetro personal y/o overoles) debido al nivel de contaminación o radiación.

Los sucesos que ocasionan altas tasas de dosis en zonas no consideradas zonas de explotación deben clasificarse aplicando el enfoque de defensa en profundidad para las instalaciones (véase el ejemplo 49).

## Nivel 2

*“Suceso que da lugar a una suma de las tasas de dosis gama y neutrónica de más de 50 mSv por hora en una zona de explotación<sup>14</sup> (tasa de dosis medida a 1 metro de la fuente).”*

o

*“Suceso que da por resultado la presencia de cantidades significativas de material radiactivo en la instalación en zonas no previstas en el diseño<sup>13</sup> y que requiere medidas correctoras.”*

En este contexto, ‘cantidad significativa’ debe interpretarse como:

- a) Un derrame de material radiactivo líquido radiológicamente equivalente a un derrame del orden de diez terabecquerels de <sup>99</sup>Mo.
- b) Un derrame de material radiactivo sólido radiológicamente equivalente a un derrame del orden de un terabecquerel de <sup>137</sup>Cs, si además los niveles de contaminación superficial y suspendida en el aire superan en diez veces los permitidos para zonas de explotación.
- c) Una emisión de material radiactivo suspendido en el aire contenida dentro de un edificio y radiológicamente equivalente a una emisión del orden de algunas decenas de gigabecquerels de <sup>131</sup>I.

### 3.3. CÁLCULO DE LA EQUIVALENCIA RADIOLÓGICA

El cuadro 4 facilita los factores de multiplicación de isótopos para calcular la equivalencia radiológica de la contaminación de una instalación. La actividad real emitida debe multiplicarse por el factor dado y luego compararse con los valores dados en la definición de cada nivel para el isótopo que se está usando con fines de comparación. Si se emiten varios isótopos, se debe calcular el valor equivalente para cada uno de ellos y luego sumarlos todos. En el apéndice I se explica cómo se obtienen estos factores.

# CUADRO 4. EQUIVALENCIA RADIOLÓGICA DE LA CONTAMINACIÓN DE UNA INSTALACIÓN

Isótopo	Factor de multiplicación para la contaminación suspendida en el aire basada en la equivalencia del <sup>131</sup> I	Factor de multiplicación para la contaminación sólida basada en la equivalencia del <sup>137</sup> Cs	Factor de multiplicación para contaminación líquida basada en la equivalencia del <sup>99</sup> Mo
Am 241	2 000	4 000	50 000
Co 60	2,0	3	30
Cs 134	0,9	1	20
Cs 137	0,6	1	12
H 3	0,002	0,003	0,03
I 131	1	2	20
Ir 192	0,4	0,7	9
Mn 54	0,1	0,2	2
Mo 99	0,05	0,08	1
P 32	0,3	0,4	5
Pu 239	3 000	5 000	57 000
Ru 106	3	5	60
Sr 90	7	11	140
Te 132	0,3	0,4	5
U 235(L) <sup>a</sup>	600	900	11 000
U 235(I) <sup>a</sup>	200	300	3 000
U 235(R) <sup>a</sup>	50	90	1 000
U 238(L) <sup>a</sup>	500	900	10 000
U 238(I) <sup>a</sup>	100	200	3 000
U 238(R) <sup>a</sup>	50	100	1 000
Unat	600	900	11 000
Gases nobles	Despreciable (realmente 0)	Despreciable (realmente 0)	Despreciable (realmente 0)

<sup>a</sup> Tipos de absorción por los pulmones: L – lenta, I – intermedia, R – rápida. En caso de duda, utilícese el valor más prudente.

3.4. EJEMPLOS PRÁCTICOS

Estos ejemplos tienen como finalidad ilustrar las orientaciones para la clasificación contenidas en esta sección del manual. Los ejemplos se basan en sucesos reales, pero han sido ligeramente modificados para ilustrar el uso de diferentes partes de las orientaciones. La última fila del cuadro da la clasificación basada en las consecuencias reales (es decir, tomando en consideración los criterios de las secciones 2 y 3). No es necesariamente la clasificación definitiva, ya que sería necesario tener en cuenta los criterios de defensa en profundidad antes de definir dicha clasificación definitiva

**Ejemplo 8. Suceso en un laboratorio que produce fuentes radiactivas – Debajo de la escala / Nivel 0**

*Descripción del suceso*

En un laboratorio en el que se producen fuentes de <sup>137</sup>Cs tuvo lugar un suceso. Como consecuencia del trabajo de reconstrucción en otra parte del edificio del laboratorio, hubo problemas para mantener un diferencial de presión negativo en el laboratorio. Esto dio lugar a contaminación suspendida en el aire del laboratorio y un conducto conectado al mismo con <sup>137</sup>Cs.

Como consecuencia del suceso, trabajadores y miembros de la población recibieron dosis bajas (<1 mSv). Las mediciones mostraron que la cantidad de actividad propagada dentro de la instalación fue de aproximadamente 3 a 4 GBq de <sup>137</sup>Cs y que la cantidad de actividad emitida al medio ambiente por el sistema de ventilación fue de aproximadamente 1 a 10 GBq.

*Explicación de la clasificación*

Criterios	Explicación
2.2. Actividad emitida	Según el cuadro 2, 1 a 10 GBq de <sup>137</sup> Cs son radiológicamente equivalentes a 40–400 GBq de <sup>131</sup> I, lo cual se sitúa muy por debajo del valor de clasificación según los criterios de emisión de “decenas a cientos de terabecquerels de <sup>131</sup> I”.
2.3. Dosis a personas	Todas las dosis son inferiores a 1 mSv, de modo que la clasificación basada en las dosis individuales corresponde al nivel 0.
3.2. Barreras y controles radiológicos en las instalaciones	Según el cuadro 4, una emisión suspendida en el aire de 4 GBq de <sup>137</sup> Cs es radiológicamente equivalente a 2,4 GBq de <sup>131</sup> I, lo cual se sitúa muy por debajo del valor de clasificación según los criterios de dispersión de contaminación de “algunas decenas de gigabecquerels de <sup>131</sup> I”.
Clasificación en función de las consecuencias reales	Debajo de la escala / Nivel 0

**Ejemplo 9. Daños al combustible en un reactor – Debajo de la escala / Nivel 0**

*Descripción del suceso*

Durante el funcionamiento del reactor, se detectó un ligero aumento de la actividad del refrigerante, lo que indicaba que se estaba produciendo un pequeño daño al combustible. Sin embargo, habida cuenta del nivel registrado, se determinó que era aceptable no interrumpir el funcionamiento. Sobre la base de la actividad del refrigerante del reactor, el operador empezó la parada de recarga esperando encontrar un pequeño número de las 3 400 barras de combustible afectadas. La inspección propiamente dicha, no obstante, reveló que habían fallado unas 200 barras (el 6% del total), aunque no hubo fusión del combustible ni emisión importante de radionucleidos de la matriz de combustible. Se descubrió que la causa había sido la presencia de materiales extraños en el refrigerante del reactor, que provocaron el sobrecalentamiento local del combustible.

*Explicación de la clasificación*

Criterios	Explicación
2.2. Actividad emitida	No procede. No hubo emisión.
2.3. Dosis a personas	No procede. No hubo dosis.
3.2. Barreras y controles radiológicos en las instalaciones	El fallo del 6% de las barras de combustible da lugar a la emisión aproximada del 0,06% del inventario del núcleo al refrigerante. Esto se sitúa por debajo del criterio para el nivel 4, lo que da una clasificación de nivel 0 según este criterio.
Clasificación en función de las consecuencias reales	Debajo de la escala / Nivel 0 (los criterios de defensa en profundidad darían una clasificación más alta).

**Ejemplo 10. Derrame de líquido contaminado con plutonio en el suelo de un laboratorio – Nivel 2**

*Descripción del suceso*

En una caja de guantes de un condensador de vidrio se desprendió una manguera flexible que suministraba agua de refrigeración. El agua inundó la caja de guantes y llenó el guante hasta que éste reventó. El agua derramada contenía unos 2,3 GBq de <sup>239</sup>Pu.

### *Explicación de la clasificación*

Criterios	Explicación
2.2. Actividad emitida	No procede.
2.3. Dosis a personas	Dado que el derrame fue de líquido no hubo una exposición significativa del personal.
3.2. Barreras y controles radiológicos en las instalaciones	<p>El laboratorio no estaba diseñado para contener los derrames. El valor para el nivel 2 a partir de derrames de líquido se define como radiológicamente equivalente a decenas de terabecquerels de <math>^{99}\text{Mo}</math>. Según la sección 3.3, 2,3 GBq de <math>^{239}\text{Pu} \equiv 130 \text{ TBq}</math> de <math>^{99}\text{Mo}</math>.</p> <p>La definición del nivel 3 implica una actividad de algunos miles de terabecquerels, de manera que 2,3 GBq están muy por debajo de este nivel.</p>
Clasificación en función de las consecuencias reales	Nivel 2.

### **Ejemplo 11. Catación de plutonio en una instalación de reprocesamiento – Nivel 2**

#### *Descripción del suceso*

Cuatro empleados entraron en una zona de radiación controlada para trabajar en un sistema de ventilación. El trabajo consistía en retirar un componente (caja de difusores) de una sala situada en un edificio que contenía una instalación de procesamiento de plutonio. La instalación no estaba en funcionamiento desde 1957 y había permanecido en estado inactivo en preparación para su clausura.

Los trabajadores llevaban puestos equipos de protección y de monitorización. El corte de la caja de difusores duró una hora y 40 minutos, y se observó que caía polvo de la caja. Cuando dejaron de trabajar y salieron de la zona, los monitores de contaminación personal detectaron contaminación en la ropa de todos los trabajadores. Las medidas inmediatas fueron el establecimiento de restricciones al trabajo para el personal afectado y el inicio de la evaluación de la dosis mediante técnicas de bioensayo. Las estimaciones iniciales de la exposición fueron de menos de 11 mSv de dosis efectiva. Posteriormente, se estimaron dosis comprometidas máximas de entre 24 y 55 mSv para las personas afectadas. El límite anual en aquel momento era de 50 mSv.

### *Explicación de la clasificación*

Criterios	Explicación
2.2. Actividad emitida	No procede. No hubo ninguna emisión al medio ambiente.
2.3. Dosis a personas	Un trabajador recibió una dosis superior al límite anual. El número de trabajadores que recibió esa dosis fue menor de 10, así que la clasificación no aumenta por el número de personas afectadas. Clasificación de nivel 2.
3.2. Barreras y controles radiológicos en las instalaciones	La contaminación tuvo lugar durante la clausura de un elemento determinado en una zona que se había preparado para una posible contaminación (es decir, una zona ‘prevista en el diseño’). Por tanto, los criterios no son aplicables.
Clasificación en función de las consecuencias reales	Nivel 2.

### **Ejemplo 12. Evacuación cerca de una instalación nuclear – Nivel 4**

#### *Descripción del suceso*

Un accidente en una central nuclear que supuso el sobrecalentamiento del combustible dio lugar al fallo de aproximadamente la mitad de las varillas de combustible y a una posterior emisión de material radiactivo. (El fallo de aproximadamente la mitad de las varillas de combustible, sin una fusión significativa de combustible, supondría la emisión aproximada de un 0,5% del inventario total del núcleo). La policía local, tras consultar con el titular de la licencia y la autoridad reguladora, tomó la decisión inmediata de evacuar a las personas en un radio de 2 km de la instalación y, gracias a ello, nadie recibió una dosis superior a 1 mSv. La evaluación de la emisión realizada por los expertos en la instalación indicó que la actividad total fue de unos 20 TBq, comprendidos aproximadamente un 10% de  $^{131}\text{I}$ , un 5% de  $^{137}\text{Cs}$ , y el resto eran gases nobles.

### Explicación de la clasificación

Criterios	Explicación
2.2. Actividad emitida	El hecho de que se realizara una evacuación no afecta a la clasificación. Según el cuadro 2, 1 TBq de $^{137}\text{Cs}$ es radiológicamente equivalente a 40 TBq de $^{131}\text{I}$ , de modo que la emisión total es radiológicamente equivalente a 42 TBq de $^{131}\text{I}$ , lo cual está cerca del valor para la clasificación según los criterios de emisión del nivel 4 de 'decenas a cientos de terabecquerels de $^{131}\text{I}$ '.
2.3. Dosis a las personas	Todas las dosis fueron inferiores a 1 mSv, de modo que la clasificación basada en la dosis individual es de nivel 0.
3.2. Barreras y controles radiológicos en las instalaciones	La emisión a partir del combustible alcanza el valor para el nivel 4, "emisión de más de aproximadamente el 0,1% del inventario del núcleo de un reactor de potencia desde los conjuntos combustibles", pero es menor que lo definido para el nivel 5, "emisión de más de un pequeño porcentaje del inventario del núcleo de un reactor de potencia procedente de los conjuntos combustibles".
Clasificación en función de las consecuencias reales	Nivel 4.

### Ejemplo 13. Fusión del núcleo del reactor – Nivel 5

#### Descripción del suceso

Una válvula del sistema de condensado falló en cerrada, lo que redujo la cantidad de agua suministrada al generador de vapor. Las bombas de agua de alimentación principal y la turbina se dispararon a los pocos segundos.

Las bombas de agua de alimentación de emergencia, que entraron en funcionamiento según lo previsto, no pudieron inyectar agua en los generadores de vapor porque varias válvulas del sistema estaban cerradas. Las bombas de refrigerante del reactor siguieron haciendo circular el agua a los generadores de vapor, pero el lado del secundario no podía eliminar calor dado que no había agua en los generadores de vapor.

La presión en el sistema de refrigeración del reactor aumentó hasta que el reactor entró en fase de parada. Una válvula de seguridad motorizada se abrió en la línea entre el presurizador y el depósito de expansión pero, sin que se diese cuenta el operador, esta válvula no volvió a cerrarse, lo que permitió que siguiese descargándose vapor en el depósito de expansión. La presión descendió en el

sistema de refrigeración del reactor. El disco de ruptura del depósito de expansión se abrió y se emitió vapor a la contención. A medida que disminuía la presión de refrigerante, el agua en la zona superior del reactor (aproximadamente 3 a 5 m por encima del combustible) se vaporizó.

Los operadores desconectaron las bombas de inyección de agua de emergencia porque pensaron que todavía había agua en el presurizador. Los operadores también desconectaron las bombas de refrigeración del reactor porque estaban preocupados por los daños debidos a posibles vibraciones excesivas. La consecuencia de esto fue que en el lazo de refrigerante del reactor se formó una bolsa de vapor. Además, en la parte superior del reactor, por encima del combustible, se formó una burbuja de vapor. Finalmente, a medida que el combustible se calentó, esta bolsa se expandió, el material de revestimiento del combustible se recalentó y más del 10% del combustible se fundió. El sistema de contención permaneció intacto.

Al final se añadió agua al sistema de refrigeración del reactor, garantizándose la refrigeración del reactor.

Los estudios indicaron que la emisión desde el emplazamiento fue pequeña, y la máxima exposición potencial fuera del emplazamiento fue de 0,8 mSv de dosis efectiva. Las dosis a los trabajadores se situaron muy por debajo de los límites anuales reglamentarios.

*Explicación de la clasificación*

Criterios	Explicación
2.2. Actividad emitida	Aunque no se facilitaron cantidades detalladas, de las pequeñas dosis puede deducirse que el nivel de la emisión al medio ambiente fue de órdenes de magnitud inferiores al valor para el nivel 4.
2.3. Dosis a las personas	Las dosis a los miembros de la población fueron inferiores a 1 mSv, y las dosis a los trabajadores no alcanzaron el límite de dosis reglamentario anual.
3.2. Barreras y controles radiológicos en las instalaciones	Se derritió más que un pequeño porcentaje del núcleo, lo que da una clasificación de nivel 5.
Clasificación en función de las consecuencias reales	Nivel 5.

#### **4. EVALUACIÓN DEL EFECTO EN LA DEFENSA EN PROFUNDIDAD EN RELACIÓN CON LOS SUCESOS RELATIVOS AL TRANSPORTE Y LAS FUENTES DE RADIACIÓN**

En esta sección se abordan los sucesos en los que no existen ‘consecuencias reales’, pero en los que fallaron algunos de los elementos de seguridad. La inclusión deliberada de múltiples elementos o barreras se denomina ‘defensa en profundidad’. En el anexo I figura más información sobre el concepto de defensa en profundidad, particularmente para instalaciones grandes.

Las orientaciones que se facilitan en esta sección están destinadas a prácticas asociadas a las fuentes de radiación y al transporte de materiales radiactivos. En la sección 6 se dan orientaciones destinadas a aceleradores e instalaciones relacionadas con la fabricación y distribución de radionucleidos o el uso de fuentes de la categoría 1.

La seguridad de la población y de los trabajadores durante el transporte y el uso de fuentes de radiación se garantiza mediante un buen diseño, una operación bien controlada, la aplicación de controles administrativos y una serie de sistemas de protección (por ejemplo, enclavamientos, alarmas y barreras físicas). Se aplica a estos elementos de seguridad un enfoque de defensa en profundidad para tener en cuenta la posibilidad de que se produzcan fallos en los equipos, errores humanos o acontecimientos no previstos.

La defensa en profundidad es, por tanto, una combinación de medidas conservadoras de diseño, garantía de calidad, vigilancia y mitigación y una cultura de seguridad general que fortalezca cada uno de estos aspectos.

La metodología de clasificación de la escala INES tiene en cuenta el número de elementos de seguridad que no dejaron de funcionar durante un suceso y las consecuencias potenciales si fallaran todos los elementos de seguridad.

Además de tener en cuenta estos factores, la metodología INES también toma en consideración los “factores adicionales” (es decir, aquellos aspectos del suceso que pueden indicar una degradación más profunda en la gestión o las disposiciones que controlan las operaciones asociadas al suceso).

Esta sección está dividida en tres secciones principales. En la primera (sección 4.1) se dan los principios generales que se deben usar para clasificar sucesos en función de la defensa en profundidad. Dado que deben abarcar un amplio espectro de tipos de sucesos, son de carácter general. Para garantizar que se aplican de manera coherente, en la sección 4.2 se ofrecen orientaciones más detalladas. En la tercera sección (sección 4.3) se presenta una serie de ejemplos prácticos.

#### 4.1. PRINCIPIOS GENERALES PARA LA CLASIFICACIÓN DE SUCESOS

Aunque la escala INES asigna tres niveles a los efectos en la defensa en profundidad, las consecuencias potenciales máximas en relación con algunas prácticas, aun cuando fallen todos los elementos de seguridad, están limitadas por el inventario de material radiactivo y el mecanismo de emisión. No conviene en el caso de esas prácticas clasificar los sucesos relacionados con los elementos de defensa en profundidad al más alto de los niveles de la defensa en profundidad. Si las consecuencias potenciales máximas de una práctica concreta no pueden clasificarse por encima del nivel 4 en la escala, en función de la defensa en profundidad una clasificación máxima de nivel 2 será adecuada. De manera similar, si las consecuencias potenciales máximas no pueden clasificarse por encima del nivel 2, entonces la clasificación máxima en función de la defensa en profundidad será el nivel 1.

Una vez identificado el límite superior de la clasificación en función de la defensa en profundidad, se debe estudiar qué elementos de seguridad siguen funcionando (es decir, qué fallos adicionales de los elementos de seguridad deberían darse para que se produjeran las consecuencias potenciales máximas en relación con esa práctica). Esto supone tener en cuenta los sistemas físicos y administrativos para la prevención, el control y la mitigación, incluidas las barreras activas y pasivas. También se tiene en cuenta si del suceso se desprenden cuestiones subyacentes relativas a la cultura de seguridad que puedan haber aumentado la probabilidad de que se produzcan las consecuencias potenciales máximas del suceso.

A fin de clasificar un suceso, por tanto, deben seguirse los siguientes pasos:

- 1) El límite superior de la clasificación en función de la defensa en profundidad debe establecerse determinando la clasificación de las consecuencias potenciales máximas de las prácticas pertinentes, basándose en los criterios que aparecen en las secciones 2 y 3 de este manual. En la sección 4.2.1 se dan orientaciones detalladas sobre el establecimiento de las consecuencias potenciales máximas.
- 2) A continuación, se debe determinar la clasificación propiamente dicha:
  - a) en primer lugar, teniendo en cuenta el número y la eficacia de los elementos de seguridad disponibles (físicos y administrativos) para la prevención, la vigilancia y la mitigación, incluidas las barreras activas y pasivas;
  - b) en segundo lugar, examinando los aspectos del suceso relativos a la cultura de seguridad que puedan indicar una degradación más profunda de los elementos de seguridad o de las disposiciones organizativas.

En la sección 4.2 se dan orientaciones detalladas sobre estos dos aspectos del proceso de clasificación.

Además de examinar el suceso desde el punto de vista de la defensa en profundidad, cada suceso también debe contemplarse aplicando los criterios de las secciones 2 y 3 (si procede).

4.2. ORIENTACIONES DETALLADAS PARA LA CLASIFICACIÓN DE SUCESOS

4.2.1. Determinación de las consecuencias potenciales máximas

Las consecuencias potenciales máximas se obtienen a partir de la categoría de la fuente basada en la actividad de la fuente (A) y del valor D para la fuente que figura en el documento titulado “Clasificación de las fuentes radiactivas” [1] del OEIA y su referencia complementaria [5]. Las consecuencias potenciales máximas no dependen de las circunstancias detalladas del suceso propiamente dicho. Los valores D se dan en términos de una actividad por encima de la cual una fuente se considera ‘peligrosa’ y tiene un potencial importante de provocar graves efectos deterministas si no se gestiona de forma tecnológica y físicamente segura. Los valores D de la guía de seguridad [1], que contiene los isótopos más comunes, se transcriben en el apéndice III. Los valores D para otros isótopos, si se precisan, figuran en la Ref. complementaria [5].

El cuadro 5 muestra la relación entre el valor A/D, la categoría de fuente y la clasificación de las consecuencias potenciales máximas (si fallasen todos los

CUADRO 5. RELACIÓN ENTRE LA RAZÓN A/D, LA CATEGORÍA DE FUENTE, LAS CONSECUENCIAS POTENCIALES MÁXIMAS Y LA CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DE LA DEFENSA EN PROFUNDIDAD.

Razón A/D	$0,01 \leq A/D < 1$	$1 \leq A/D < 10$	$10 \leq A/D < 1000$	$1000 \leq A/D$
Categoría de fuente	Categoría 4	Categoría 3	Categoría 2	Categoría 1
Clasificación de las consecuencias potenciales máximas en relación con una práctica si fallasen todos los elementos de seguridad	2	3	4	5 <sup>a</sup>
Clasificación máxima según los criterios de defensa en profundidad	1	2	2	3

<sup>a</sup> En el caso de sucesos relacionados con fuentes radiactivas no se consideran creíbles niveles más altos.

elementos de seguridad). También muestra la clasificación máxima en función de la defensa en profundidad para cada categoría de fuente de acuerdo con los principios generales de clasificación de eventos descritos anteriormente. Las clasificaciones propiamente dichas serán iguales a las mostradas en la fila inferior de este cuadro, o menores, cuando se apliquen las orientaciones de clasificación que figuran en la sección 4.2.2.

Puesto que la clasificación máxima en función de la defensa en profundidad es la misma para fuentes de la categoría 2 y de la categoría 3, éstas se tienen en cuenta juntas en el resto de la sección.

Los valores D no se aplican específicamente al combustible nuclear irradiado. Sin embargo, los sucesos relativos al transporte de combustible nuclear irradiado deben evaluarse empleando las orientaciones que aparecen en la sección 4.2.2 para fuentes de la categoría 1.

Tal como se indicó anteriormente, la clasificación de sucesos en aceleradores utiliza las orientaciones de la sección 6. Las orientaciones de la presente sección son pertinentes para otras fuentes de máquinas. No obstante, no existe un método sencillo para clasificar fuentes de máquinas en función de su tamaño, etc. Por consiguiente, es necesario utilizar los principios generales de la escala INES. En el caso de máquinas en las que ningún suceso puede tener como resultado efectos deterministas aun cuando fallen todos los elementos de seguridad, los sucesos deben clasificarse empleando las orientaciones de la sección 4.2.2 para las fuentes de la categoría 4. En el caso de las máquinas en relación con las cuales podrían darse efectos deterministas si fallasen todos los elementos de seguridad, los sucesos deben clasificarse utilizando las orientaciones de la sección 4.2.2 para las fuentes de la categoría 2 y de la categoría 3.

Las fuentes de la categoría 5 no se incluyen en el cuadro 5 ni se tienen en cuenta en los cuadros de clasificación de la sección 4.2.2. El documento titulado “Clasificación de las fuentes radiactivas” [1] del OIEA explica que las fuentes de la categoría 5 no pueden causar lesiones permanentes a las personas. Por lo tanto, en función de la defensa en profundidad, los sucesos relacionados con el fallo de los elementos de seguridad de esas fuentes solo deben clasificarse en la categoría Debajo de la escala / Nivel 0, o nivel 1. En la introducción a la sección 4.2.2 se dan unas sencillas orientaciones sobre si es adecuada la categoría Debajo de la escala / Nivel 0 o el nivel 1.

Cuando un suceso guarda relación con una serie de fuentes o de bultos de transporte, es necesario analizar si conviene usar el inventario de un solo artículo o el inventario total de fuentes/bultos. Si la reducción de los requisitos de seguridad tiene el potencial de afectar a todos los artículos (por ejemplo, un incendio), entonces debe emplearse el inventario total. Si la reducción de los requisitos de seguridad solo puede afectar a un único elemento (por ejemplo, el

etiquetado incorrecto de un bulto de transporte), el inventario usado debe ser el del bulto afectado. En el apéndice III se facilita la metodología para calcular un valor D total.

Con el fin de tener en cuenta el amplio espectro de posibles sucesos abarcados en esta guía, al evaluar un suceso deben seguirse los siguientes pasos para tener en cuenta las consecuencias potenciales máximas:

- Si se conoce la actividad, el valor A/D se debe determinar dividiendo la actividad (A) del radionucleido por el valor D definido. Hay que comparar la razón A/D con las razones A/D del cuadro 5 y asignar una categoría.
- Si no se conoce la actividad real (por ejemplo, una fuente no identificada hallada en la chatarra), la actividad debe estimarse a partir de tasas de dosis conocidas o medidas y mediante la identificación del radionucleido. A continuación, la categoría debe asignarse en función de la razón A/D.
- Si no se conoce la actividad real y no se dispone de mediciones de la tasa de dosis, debe estimarse una categoría de fuente en función de la información disponible sobre el uso de la fuente. En el apéndice IV se dan ejemplos de los distintos usos de las fuentes y su categoría más probable.
- En el caso de sucesos relacionados con bultos que contengan material fisible (que no sea “material fisible exceptuado” según se define en el Reglamento de Transporte [6]):
  - Cuando se vean afectados elementos de seguridad necesarios para evitar la criticidad, el suceso debe clasificarse como si el bulto fuese una fuente de la categoría 1.
  - Cuando se produzca un fallo de un elemento que no esté relacionado con la seguridad contra criticidad, en relación con combustible no irradiado, la clasificación debe basarse en la actividad real de que se trate utilizando la razón A/D. En cuanto al combustible irradiado, en general debe emplearse la columna para fuentes de la categoría 1, aunque se podría calcular y emplear el valor A/D real si las cantidades de material irradiado son sumamente pequeñas.

#### **4.2.2. Clasificación basada en la eficacia de los elementos de seguridad**

En las siguientes secciones se ofrece una serie de orientaciones sobre la clasificación de varios tipos de sucesos asociados a la degradación de los elementos de seguridad. La sección 4.2.2.2 abarca sucesos relacionados con fuentes, dispositivos o bultos de transporte radiactivos perdidos o encontrados, la sección 4.2.2.3 trata sucesos en los que se han degradado los elementos de seguridad previstos, y la sección 4.2.2.4 trata varios otros sucesos relacionados con la seguridad.

En todos los casos en los que exista más de una posible clasificación, un aspecto que se debe tener en cuenta serán las implicaciones subyacentes relativas a la cultura de seguridad. Por consiguiente, en la sección 4.2.2.1 se dan más orientaciones al respecto. Puesto que en algunos de los casos en los que existe más de una clasificación posible también hay que tener en cuenta otros factores, se incluyen notas de pie de página para dar orientaciones sobre esos factores específicos.

Los sucesos relacionados con las fuentes de la categoría 5 no se incluyen en las siguientes secciones porque en general se clasifican como Debajo de la escala / Nivel 0. No obstante, convendría clasificarlos como nivel 1 si se hubiesen perdido claramente todos los elementos de seguridad previstos o hubiese pruebas de una deficiencia importante relativa a la cultura de seguridad. Cuando no haya habido intención de aplicar controles específicos en la ubicación de las fuentes de la categoría 5, su pérdida solo debería clasificarse como Debajo de la escala / Nivel 0.

#### *4.2.2.1. Examen de las implicaciones desde la perspectiva de la cultura de la seguridad*

La cultura de la seguridad se ha definido como “el conjunto de características y actitudes en organizaciones e individuos que establece, como prioridad absoluta, que las cuestiones de protección y de seguridad reciban la atención exigida por su importancia [7]. Aunque una buena cultura de la seguridad ayuda a evitar incidentes, una falta de cultura de seguridad podría tener como resultado que los empleados actúen de formas que no se ajusten a los supuestos del diseño. Por tanto, la cultura de la seguridad ha de considerarse parte de la defensa en profundidad.

Para tener una clasificación más alta por cuestiones relativas a la cultura de la seguridad, el suceso tiene que considerarse un indicador real de un problema en la cultura de seguridad. Podrían ser ejemplos de esas indicaciones:

- la violación de los límites o requisitos autorizados o la violación de un procedimiento sin autorización previa;
- una deficiencia en el proceso de garantía de calidad;
- una acumulación de errores humanos;
- el no mantenimiento de un control adecuado respecto de los materiales radiactivos, incluidas las emisiones al medio ambiente, la diseminación de contaminación o un fallo en los sistemas de control de dosis; o
- la repetición de un suceso, cuando haya pruebas de que el explotador no se ha ocupado de que se hayan aprendido las lecciones o de que se hayan tomado medidas correctoras tras el primer suceso.

Es importante observar que el propósito de las presentes orientaciones no es iniciar una evaluación larga y detallada sino examinar si existe una opinión inmediata que puedan emitir los encargados de clasificar el suceso. Suele ser difícil determinar inmediatamente después del suceso si debe aumentarse la clasificación debido a la cultura de seguridad. En este caso, debe proporcionarse una clasificación provisional basada en lo que se sabe en el momento; y más tarde una clasificación definitiva que tenga en cuenta la información adicional relativa a la cultura de la seguridad que se haya desprendido de una investigación detallada.

#### *4.2.2.2. Sucesos relacionados con fuentes/dispositivos radiactivos perdidos o encontrados*

El cuadro 6 debe emplearse para los sucesos relacionados con fuentes, dispositivos y bultos de transporte radiactivos, que se hayan extraviado, perdido, o que hayan sido robados o encontrados. Si es imposible localizar una fuente, un dispositivo o un bulto de transporte, en un primer momento puede considerarse “desaparecido”. Sin embargo, si la búsqueda en las probables ubicaciones alternativas es infructuosa, debe considerarse perdido o robado, de conformidad con los requisitos nacionales.

La pérdida de una fuente, un dispositivo o un bulto de transporte radiactivo, debe clasificarse en función de la degradación de la defensa en profundidad. Si la fuente, el dispositivo o el bulto de transporte radiactivos es encontrado posteriormente, la pérdida anterior de la fuente y su posterior descubrimiento deben considerarse un único suceso. La clasificación original debe revisarse, y el suceso se puede volver a clasificar (al alza o a la baja) sobre la base de cualquier información adicional disponible. La información pertinente que se ha de examinar debe incluir:

- el lugar en el que se encontró la fuente, el dispositivo o el bulto de transporte y cómo llegó allí;
- el estado de la fuente, el dispositivo o el bulto de transporte;
- el tiempo que la fuente, el dispositivo o el bulto de transporte estuvo perdido;
- el número de personas expuestas y las posibles dosis.

La clasificación revisada debe contemplar la clasificación original en función de la defensa en profundidad y las consecuencias reales. En la mayoría de los casos, será necesario estimar o calcular las dosis que se hayan recibido utilizando hipótesis realistas en lugar de los peores escenarios posibles.

En el cuadro 6, se examinan juntos una fuente radiactiva encontrada y un dispositivo encontrado. Con la primera se pretende describir una fuente sin blindaje. En cambio, con el dispositivo encontrado se pretende describir el descubrimiento de una fuente huérfana aún dentro de un recipiente blindado intacto.

Ha habido numerosos ejemplos de transferencia de fuentes huérfanas perdidas o encontradas al comercio del reciclaje de metales. Como consecuencia de ello, es cada vez más habitual que los comerciantes de metales y las acerías comprueben que no hay tales fuentes en las remesas de chatarra que les llegan. La clasificación más adecuada para esos sucesos se determina empleando la fila “fuente huérfana encontrada” del cuadro 6. Si la fuente ha sido fundida, debe aplicarse la clasificación más alta. Si la fuente se descubre antes de ser fundida, la clasificación debe depender de si aún existen elementos de seguridad, tal como se explica en la nota de pie de página 1.

Cuando se trate de sucesos relacionados con metal contaminado, quizás no sea práctico determinar la categoría de la fuente según las orientaciones de la sección 4.2.1. En estos casos, se debe medir la tasa de dosis y estimar las dosis a las personas presentes en la zona. La clasificación debe basarse entonces en estas dosis potenciales.

#### *4.2.2.3. Sucesos relacionados con la degradación de elementos de seguridad*

El cuadro 7 debe emplearse para los sucesos en los que la fuente de radiación, el dispositivo o el bulto de transporte está donde se supone que tiene que estar pero ha habido una degradación de los elementos de seguridad, lo que incluye una serie de elementos físicos tales como el embalaje para el transporte o el contenedor de las fuentes, otros sistemas de blindaje o contención, enclavamientos y otros dispositivos de seguridad/alarma. También incluyen controles administrativos tales como el etiquetado de bultos de transporte, la documentación de transporte, los procedimientos de trabajo y de emergencia, la vigilancia radiológica y el uso de dosímetros personales con alarma. Es probable que las instalaciones como los irradiadores que utilizan fuentes de la categoría 1, las unidades de teleterapia o los aceleradores lineales, contengan elementos de defensa en profundidad de gran integridad. Como se indicó en la introducción a la presente sección, los sucesos relacionados con la degradación de los elementos de seguridad en esas instalaciones deben clasificarse empleando para ello la información de la sección 6.

CUADRO 6. CLASIFICACIÓN DE SUCESOS PARA FUENTES, DISPOSITIVOS O BULTOS DE TRANSPORTE RADIACTIVOS PERDIDOS O ENCONTRADOS

Tipo de sucesos	Clasificación del suceso en función de la categoría de la fuente		
	Cat. 4	Cat. 3 o cat. 2	Cat. 1
Fuente, dispositivo o bulto de transporte radiactivos desaparecido, y recuperado posteriormente intacto dentro de una zona controlada.	1	1	1
Fuente, dispositivo (incluidos fuentes y dispositivos huérfanos) o bulto de transporte encontrado.	1	1 o 2 (Nota a)	2 o 3 (Nota a)
Fuente, dispositivo o bulto de transporte radiactivos perdido y no recuperado aún.	1	2	3
Fuente, dispositivo o bulto de transporte radiactivos perdido o robado, posteriormente localizado, con confirmación de que no se han producido exposiciones imprevistas, y respecto del cual se ha tomado y aprobado la decisión de no recuperar la fuente porque está en un lugar seguro o inaccesible (por ejemplo, bajo el agua).	1	1	1
Bulto de transporte erróneamente entregado, pero la instalación receptora cuenta con todos los procedimientos de seguridad radiológica requeridos para manipular el bulto.	0 o 1	1	1
Bulto de transporte erróneamente entregado, pero la instalación receptora no cuenta con todos los procedimientos de seguridad radiológica requeridos para manipular el bulto.	1	1 o 2 (Nota b)	2 o 3 (Nota b)

<sup>a</sup> La clasificación más baja propuesta es más apropiada cuando resulte evidente que algunos elementos de seguridad han seguido siendo eficaces (por ejemplo, una combinación de blindaje, dispositivos de bloqueo y señales de advertencia).

<sup>b</sup> Una clasificación más baja puede ser más apropiada si la instalación cuenta con algunos procedimientos de seguridad radiológica apropiados.

CUADRO 7. CLASIFICACIÓN DE SUCESOS QUE SUPONEN LA DEGRADACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE SEGURIDAD<sup>15</sup>

Tipo de sucesos	Clasificación del suceso en función de la categoría de la fuente		
	Cat. 4	Cat. 3 o cat. 2	Cat. 1
<b>A. Sin degradación de los elementos de seguridad</b>			
Aunque se haya producido un suceso anómalo, no tiene importancia en cuanto a la eficacia de los elementos de seguridad existentes, por ejemplo:			
— Daño superficial al blindaje y/o los contenedores de fuentes o fuentes con fugas que dan lugar a contaminación superficial o derrame de poca importancia en los que se produce un bajo nivel de contaminación de personas.	1	1	1
— Daño superficial al blindaje y/o los contenedores de fuentes o fuentes con fugas que dan lugar a contaminación superficial o derrame de poca importancia en los que la contaminación que se produce es poco corriente pero de importancia radiológica escasa o nula.	0 o 1	0 o 1	0 o 1
— Contaminación en zonas diseñadas para hacer frente a estos sucesos.	0 o 1	0 o 1	0 o 1
— Sucesos previsibles en los que los procedimientos de seguridad fueron eficaces en la prevención de exposiciones no planeadas y la vuelta a las condiciones normales. Esto podría comprender sucesos como la no devolución de fuentes expuestas (por ejemplo, una fuente de rayos gamma para radiografía industrial o una fuente para braquiterapia) siempre y cuando se recuperen de forma segura de acuerdo con los procedimientos de emergencia existentes.	0 o 1	0 o 1	0 o 1
— Ausencia de daños o daños sin importancia a un bulto de transporte, sin aumento de la tasa de dosis.	0 o 1	0 o 1	0 o 1
-----			

<sup>15</sup> Siempre que existan varias clasificaciones posibles, un factor importante es si hay repercusiones para la cultura de seguridad, como se ha analizado en la sección 4.2.2.1.

CUADRO 7. CLASIFICACIÓN DE SUCESOS QUE SUPONEN LA DEGRADACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE SEGURIDAD<sup>15</sup> (cont.)

Tipo de sucesos	Clasificación del suceso en función de la categoría de la fuente		
	Cat. 4	Cat. 3 o cat. 2	Cat. 1
<b>B. Con elementos de seguridad parciales</b>			
Han fallado uno o más elementos de seguridad (por cualquier motivo), pero queda al menos un elemento de seguridad.			
Son sucesos habituales:			
— El fallo de parte de un sistema de alerta o de seguridad instalado diseñado para evitar exposiciones a altas tasas de dosis.	0 o 1 (Nota a)	1 o 2 (Nota a)	(Nota b)
— El incumplimiento de los procedimientos de seguridad (incluidas las comprobaciones de seguridad y la monitorización radiológica), si bien siguen funcionando otros elementos de seguridad (físicos) existentes.	0 o 1 (Nota a)	1 o 2 (Nota a)	(Nota b)
— La degradación significativa de sistemas de contención o cierres defectuosos.	0 o 1 (Nota a)	1 o 2 (Nota a)	(Nota b)
— Embalajes o amarres defectuosos. Dispositivos ineficaces indicadores de interferencias.	0 o 1 (Nota c)	0 o 1 (Nota c)	0 o 1 (Nota c)
<b>C. Sin elementos de seguridad</b>			
Suceso con posibilidades importantes de causar exposiciones no previstas o con riesgo importante de dispersar contaminación en zonas que carecen de controles.			
Son sucesos habituales:			
— La pérdida de blindaje (por ejemplo, debido a un incendio o a un impacto severo, posibilitando la exposición directa a la fuente).	1	1 o 2 (Nota d)	2 o 3 (Nota e)
— El fallo de dispositivos de alerta y de seguridad de manera que sea posible entrar en zonas con altas tasas de dosis.	1	1 o 2 (Nota d)	2 o 3 (Nota e)

CUADRO 7. CLASIFICACIÓN DE SUCESOS QUE SUPONEN LA DEGRADACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE SEGURIDAD<sup>15</sup> (cont.)

Tipo de sucesos	Clasificación del suceso en función de la categoría de la fuente		
	Cat. 4	Cat. 3 o cat. 2	Cat. 1
— La falta de monitorización de los niveles de radiación cuando no quedan otros elementos de seguridad o han fallado todos los demás elementos de seguridad (por ejemplo, para comprobar que las fuentes de rayos gamma están totalmente retiradas tras exposiciones de radiografía en el emplazamiento).	1	1 o 2 (Nota d)	2 o 3 (Nota e)
— Sucesos en los que una fuente permanece expuesta accidentalmente y no existen procedimientos eficaces para hacer frente a la situación, o en los que se hace caso omiso de esos procedimientos.	1	1 o 2 (Nota d)	2 o 3 (Nota e)
— Embalaje hallado sin blindaje o con blindaje inadecuado, y con posibilidades importantes de exposiciones.	1	1 o 2 (Nota d)	2 o 3 (Nota e)

<sup>a</sup> La clasificación baja puede ser apropiada si siguen funcionando una serie de elementos de seguridad y no hay repercusiones importantes relativas a la cultura de seguridad. Cuando básicamente solo queda una barrera de seguridad, debe usarse la clasificación alta.

<sup>b</sup> La clasificación de sucesos que implican la degradación parcial de los elementos de seguridad para fuentes de la categoría 1 montadas en instalaciones debe basarse en el enfoque de barreras de seguridad relativo a las clasificaciones que se describe en la sección 6. La clasificación de otros sucesos relacionados con fuentes de la categoría 1 debe ser de nivel 1 o 2, siendo la clasificación baja más adecuada si todavía quedan algunos elementos de seguridad sin que haya repercusiones importantes relativas a la cultura de seguridad.

<sup>c</sup> El nivel alto sería adecuado a menos que el nivel de degradación sea muy reducido.

<sup>d</sup> Las consecuencias potenciales máximas en relación con una fuente de la categoría 3 instalada en un lugar fijo dentro de una instalación no pueden clasificarse por encima del nivel 2. Por tanto, para los sucesos en esas instalaciones, la clasificación máxima en función de la defensa en profundidad debe ser el nivel 1.

<sup>e</sup> El nivel 3 es adecuado únicamente cuando las consecuencias potenciales máximas pueden ser superiores al nivel 4. Las instalaciones que emplean fuentes de la categoría 1 deben clasificarse utilizando las orientaciones de la sección 6. La aplicación de las mismas daría una clasificación de nivel 3 solo si existe la posibilidad de dispersión del material radiactivo. Si el suceso está únicamente relacionado con la degradación de los elementos de seguridad que evitan la sobreexposición de los trabajadores, las orientaciones darán una clasificación de nivel 2.

4.2.2.4. Otros sucesos importantes desde el punto de vista de la seguridad

El cuadro 8 debe usarse para sucesos pertinentes desde el punto de vista de la seguridad que no estén contemplados en los cuadros anteriores.

CUADRO 8. CLASIFICACIÓN DE OTROS SUCESOS IMPORTANTES DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA SEGURIDAD<sup>16</sup>

Tipo de sucesos	Clasificación del evento en función de la categoría de la fuente		
	Cat. 4	Cat. 3 o cat. 2	Cat. 1
Un miembro del público recibe en un suceso único una dosis superior a los límites de dosis reglamentarios anuales.	1	1	1
Trabajadores o miembros de la población reciben dosis acumuladas superiores a los límites de dosis reglamentarios anuales.	1	1	1
Ausencia o deficiencia grave de los registros como inventarios de fuentes, fallos en las disposiciones relativas a la dosimetría.	1	1	1
Descargas al medio ambiente superiores a los límites autorizados.	1	1	1
Incumplimiento de las condiciones de transporte previstas en la licencia.	1	1	1
Vigilancia radiológica del transporte inadecuada.	0 o 1 (Nota a)	0 o 1 (Nota a)	0 o 1 (Nota a)
Contaminación en bultos/medios de transporte, en los que la contaminación resultante tiene poca o ninguna importancia radiológica.	0 o 1	0 o 1	0 o 1
Contaminación en bultos/medios de transporte, donde una serie de mediciones revelan que existe una contaminación excesiva superior a los límites aplicables y existe la posibilidad de que el público pueda resultar contaminado.	1	1	1
Documentos de expedición, etiquetas de bultos o placas de vehículos incorrectos o inexistentes. Marcado de bultos incorrecto o inexistente.	0 o 1	0 o 1	0 o 1
-----			

<sup>16</sup> Siempre que existan varias clasificaciones posibles, un factor importante es si hay repercusiones para la cultura de seguridad, como se ha analizado en la sección 4.2.2.1.

CUADRO 8. CLASIFICACIÓN DE OTROS SUCESOS IMPORTANTES DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA SEGURIDAD<sup>16</sup> (cont.)

Tipo de sucesos	Clasificación del evento en función de la categoría de la fuente		
	Cat. 4	Cat. 3 o cat. 2	Cat. 1
Material radiactivo en un bulto supuestamente vacío.	1	1 o 2 (Nota b)	1, 2 o 3 (Nota b)
Material radiactivo en un tipo incorrecto de embalaje o en un embalaje inapropiado.	0 o 1 (Nota c)	1 o 2 (Nota c)	2 o 3 (Nota c)

- <sup>a</sup> La clasificación debe tener en cuenta en qué medida los estudios son inadecuados, así como cualquier repercusión para la cultura de la seguridad.
- <sup>b</sup> Al establecer la clasificación se deben tener en cuenta los elementos de seguridad que podrían existir todavía aunque se suponga que el bulto está vacío.
- <sup>c</sup> La clasificación alta en cada categoría refleja situaciones en las que un embalaje incorrecto o inadecuado puede dar lugar razonablemente a exposiciones involuntarias.

4.3. EJEMPLOS PRÁCTICOS

**Ejemplo 14. Desprendimiento y recuperación de una fuente para radiografía industrial – Debajo de la escala / Nivel 0**

*Descripción del suceso*

En una planta petroquímica se estaba realizando una radiografía industrial utilizando una fuente de <sup>192</sup>Ir de 1 TBq. Durante una exposición, la fuente se desprendió mientras estaba en funcionamiento, lo que no se advirtió hasta que el radiólogo volvió a entrar en la zona con un medidor de radiación. Se comprobaron las barreras de la zona controlada, sin retirarlas, y se pidió ayuda a las autoridades nacionales. Las autoridades y los radiólogos planificaron conjuntamente la operación de recuperación de la fuente. Doce horas después de que se identificara el suceso por primera vez la fuente se recuperó con éxito. Todas las dosis recibidas (por tres personas) a raíz del suceso, incluida la recuperación de la fuente, fueron inferiores a 1 mSv.

### *Explicación de la clasificación*

Criterios	Explicación
2.3. Dosis a las personas:	Las dosis recibidas fueron inferiores al valor correspondiente al nivel 1.
4.2.1. Consecuencias potenciales máximas:	El valor D para el $^{192}\text{Ir}$ es 0,08 TBq, de manera que la razón A/D fue 12 (es decir, la fuente es de categoría 2).
4.2.2. Eficacia de los elementos de seguridad:	Este suceso es previsible en radiografía industrial, y cabe esperar que existan planes de contingencia y equipos para hacer frente a tales sucesos. La monitorización por parte del radiólogo también fue eficaz. Según el cuarto punto de la sección A del cuadro 7, “Sucesos previsibles en los que los procedimientos de seguridad fueron eficaces en la prevención de exposiciones no planeadas y la vuelta a las condiciones normales”, la clasificación podría ser bien Debajo de la escala / Nivel 0, bien Nivel 1. Dado que no hubo indicios de problemas relacionados con la cultura de seguridad, se selecciona Debajo de la escala / Nivel 0.
Clasificación global:	Debajo de la escala / Nivel 0.

### **Ejemplo 15. Descarrilamiento de un tren que transportaba combustible gastado – Debajo de la escala / Nivel 0**

#### *Descripción del suceso*

Un tren con tres vagones, cada uno con un bulto de combustible gastado, descarriló a una velocidad de 28 km/h. Un raíl se rompió cuando el tren pasó por encima. Dos de los vagones descarrilaron, pero no quedaron tumbados; el otro quedó inclinado y hubo que estabilizarlo. Treinta y seis horas después, los vagones estaban de nuevo en camino. No hubo consecuencias radiológicas.

### Explicación de la clasificación

Criterios	Explicación
2.3. Dosis a las personas:	No se notificaron dosis.
4.2.1. Consecuencias potenciales máximas:	Los bultos de combustible gastado deben clasificarse utilizando las orientaciones para fuentes de la categoría 1.
4.2.2. Eficacia de los elementos de seguridad:	Según el quinto punto de la sección A del cuadro 7, “Ausencia de daños o daños sin importancia a un bulto de transporte, sin aumento de la tasa de dosis”, la clasificación podría ser bien Debajo de la escala / Nivel 0, bien nivel 1. Dado que no hubo indicios de problemas relacionados con la cultura de seguridad, se selecciona Debajo de la escala / Nivel 0.
Clasificación global:	Debajo de la escala / Nivel 0.

### **Ejemplo 16. Bulto dañado por una carretilla elevadora – Debajo de la escala / Nivel 0**

#### *Descripción del suceso*

Se notificó que un bulto del tipo A resultó dañado en un aeropuerto. Los primeros informes indicaban que el bulto solo había sido rozado por la rueda de una carretilla elevadora. Se le pidió al remitente que evaluase los daños al bulto y determinase qué hacer con él. El remitente pudo volver a empaquetar el contenido (dos fuentes de  $^{252}\text{Cf}$  de 1,98 MBq cada una), lo que permitió que el bulto siguiera su camino. Se contaba también con equipos para embalar el bulto del Tipo A y devolverlo a su origen. Se confirmó que hubo unos daños mínimos al embalaje externo original.

### Explicación de la clasificación

Criterios	Explicación
2.3. Dosis a las personas:	Las dosis recibidas fueron inferiores al valor correspondiente al nivel 1.
4.2.1. Consecuencias potenciales máximas:	El valor D para el $^{252}\text{Cf}$ es 0,02 TBq, lo que da una razón A/D inferior a 0,01. Por consiguiente, el bulto contenía fuentes de la categoría 5.
4.2.2. Eficacia de los elementos de seguridad:	No hubo degradación de los elementos de seguridad. Según la introducción a la sección 4.2.2, la clasificación es Debajo de la escala / Nivel 0.
Clasificación global:	Debajo de la escala / Nivel 0.

**Ejemplo 17. Robo de una fuente para radiografía industrial – Nivel 1**

*Descripción del suceso*

Se notificó a las autoridades nacionales el robo de un dispositivo de radiografía industrial que contenía una fuente de <sup>192</sup>Ir de 4 TBq. Se emitió una nota de prensa y se llevó a cabo una investigación de las zonas circundantes. El dispositivo se encontró veinticuatro horas más tarde en una cuneta contigua a una carretera sin daños en el blindaje y totalmente intacto. Se cree que nadie resultó expuesto.

*Explicación de la clasificación*

Criterios	Explicación
2.3. Dosis a las personas:	No hubo dosis debida al suceso ni se emitió actividad.
4.2.1. Consecuencias potenciales máximas:	El valor D para el <sup>192</sup> Ir es 0,08 TBq, de manera que la razón A/D fue 50 (es decir, la fuente era de categoría 2).
4.2.2. Eficacia de los elementos de seguridad:	El suceso inicial es la pérdida o el robo de fuente de categoría 2, lo que según la fila tres del cuadro 6 da una clasificación de nivel 2. Una vez encontrado el dispositivo, se pudo revisar la clasificación. Puesto que cuando el dispositivo se encontró no faltaba ningún elemento de seguridad y no había indicios de que hubieran sido puestos en peligro, resultó apropiada una clasificación definitiva de nivel 1 sobre la base de la fila 2 del cuadro 6.
Clasificación global:	Nivel 1.

**Ejemplo 18. Varias fuentes radiactivas encontradas en la chatarra – Nivel 1**

*Descripción del suceso*

El organismo regulador fue notificado por una empresa de chatarra de que se había activado una alarma de radiación procedente de su detector de pórtico. Utilizando equipos portátiles de detección de radiación, el organismo regulador midió un elevado nivel de radiación, de 30 µSv/h, en la superficie de un contenedor de 12 m. El contenedor fue descargado por una empresa especializada en rastrear y recuperar fuentes radiactivas de la chatarra. Se encontraron tres portafuentes de acero inoxidable idénticos, cada uno con una fuente de <sup>137</sup>Cs, pero sin mecanismos obturadores. Dos de los portafuentes tenían marcas identificativas que permitieron caracterizar las fuentes como <sup>137</sup>Cs de 2 GBq y

<sup>137</sup>Cs de 8 GBq. La tasa de dosis en la superficie de cada uno de los tres portafuentes era de unos 4,5, 4,2 y 17 mSv/h, respectivamente, y la actividad de cada fuente era de aproximadamente 1,85 GBq, 1,85 GBq y 7,4 GBq, respectivamente. El contenedor había estado en tránsito durante casi un mes, pero no pudo determinarse el origen de las fuentes. Se aplicaron medidas de seguridad física a las fuentes y se transportaron a una instalación adecuada de desechos radiactivos.

*Explicación de la clasificación*

Criterios	Explicación
2.3. Dosis a las personas:	Teniendo en cuenta las dosis potenciales durante el transporte y la manipulación de estas fuentes, no se considera creíble que puedan haberse recibido dosis superiores a 10 mSv, o que diez personas o más puedan haber sido expuestas (es decir, el nivel 1).
4.2.1. Consecuencias potenciales máximas:	Se sabía que dos de las fuentes eran de <sup>137</sup> Cs y, según las tasas de dosis y las mediciones de actividad, la tercera fuente parecía ser igual que la más pequeña de las dos fuentes identificadas. El valor D para el <sup>137</sup> Cs es $1 \times 10^{-1}$ TBq, y la actividad total de la fuente era de 11,1 GBq, lo que da una razón A/D de $0,01 \leq A/D < 1$ . Por tanto, era una fuente de la categoría 4.
4.2.2. Eficacia de los elementos de seguridad:	El suceso fue el descubrimiento de tres fuentes huérfanas. Según la segunda fila del cuadro 6, el nivel 1 es apropiado.
Clasificación global:	Nivel 1.

**Ejemplo 19. Pérdida de un medidor de densidad – Nivel 1**

*Descripción del suceso*

Se perdió un medidor de densidad-humedad en una obra y se supuso que había sido robado de un camión. El medidor contenía una fuente de <sup>137</sup>Cs (0,47 GBq) y una fuente de neutrones de Am 241/Be (1,6 GBq). Esto se notificó a las autoridades nacionales, se emitió una nota de prensa y se realizó una investigación de las zonas circundantes. El medidor fue recuperado unos pocos días después sin señales de haber sido dañado.

## Explicación de la clasificación

Criterios	Explicación
2.3. Dosis a las personas:	No hubo dosis derivadas del suceso.
4.2.1. Consecuencias potenciales máximas:	Es necesario calcular el valor A/D total, tal como se explica en el apéndice III. El valor D para el $^{137}\text{Cs}$ es 0,1 TBq comparado con una actividad de fuente de 0,47 GBq, y el valor D para el $^{241}\text{Am/Be}$ es de 0,06 TBq comparado con una actividad de fuente de 1,6 GBq, lo que da un valor A/D total de $0,47/100 + 1,6/60 = 0,031$ . Por consiguiente, la razón A/D total está entre 0,01 y 1 y la fuente puede clasificarse como de categoría 4.
4.2.2. Eficacia de los elementos de seguridad:	Según la segunda fila del cuadro 6, el nivel 1 resulta apropiado. Su recuperación permitió volver a evaluar el suceso como una ‘fuente radiactiva perdida o robada, posteriormente localizada’ (cuarta fila), lo que para una fuente de categoría 4 sigue equivaliendo al nivel 1.
Clasificación global:	Nivel 1.

## Ejemplo 20. Fuente radiactiva robada durante el transporte – Nivel 1

### Descripción del suceso

Cuando un bulto con una fuente sellada de  $^{60}\text{Co}$  de 1,85 GBq fue entregado por el remitente, se encontró que estaba vacío. La fuente se halló siete horas más tarde en un camión de reparto. El bulto había sido abierto intencionadamente. 1,85 GBq de  $^{60}\text{Co}$  dan una tasa de dosis de 0,5 mSv/h a una distancia de 1 m.

Parece que el suceso fue el resultado directo del incumplimiento de las normas para el transporte de materiales radiactivos:

- El precinto de seguridad requerido por las normas no estaba fijado al bulto;
- No se había rellenado la declaración de envío; y
- Al parecer, no se había fijado la etiqueta de material radiactivo al contenedor (aunque esto nunca se llegó a demostrar claramente).

### *Explicación de la clasificación*

Criterios	Explicación
2.3. Dosis a las personas:	Partiendo de las entrevistas con el personal implicado y los escenarios probables postulados sobre lo que pudo haberle sucedido a la fuente, se realizaron estimaciones de dosis. Se llegó a la conclusión de que ni el conductor ni el personal de reparto recibieron dosis medibles.
4.2.1. Consecuencias potenciales máximas:	El valor D del $^{60}\text{Co}$ es 0,03 TBq, lo que da una razón A/D entre 0,01 y 1 y, por tanto, una fuente de la categoría 4.
4.2.2. Eficacia de los elementos de seguridad:	Según el quinto punto de la sección C del cuadro 7, “Embalaje hallado sin blindaje o con blindaje inadecuado, y con posibilidades importantes de exposiciones”, la clasificación es de nivel 1.
Clasificación global:	Nivel 1.

### **Ejemplo 21. Derrame de material radiactivo en un departamento de medicina nuclear – Nivel 1**

#### *Descripción del suceso*

Un carrito empleado para trasladar radionucleidos desde la radiofarmacia a la sala de inyección/tratamiento de un hospital se vio implicado en una colisión. El suceso tuvo lugar en un pasillo del hospital, y se derramó en el suelo una dosis de  $^{131}\text{I}$  (4 GBq en forma líquida). Dos personas (una enfermera y un paciente) resultaron contaminadas (manos, ropa exterior y zapatos), cada una por una actividad estimada de 10 MBq de  $^{131}\text{I}$ . Se llamó al personal del departamento de medicina nuclear, y ambas personas fueron descontaminadas antes de que transcurriera una hora tras el suceso.

Las dosis estimadas que recibieron las dos personas implicadas fueron mínimas (menos de 0,5 mSv de dosis efectiva comprometida). La zona del derrame se cerró temporalmente durante dos semanas (equivalente a dos períodos de semidesintegración) y luego fue descontaminada con éxito por el personal de medicina nuclear.

## Explicación de la clasificación

Criterios	Explicación
2.3. Dosis a las personas:	Las dosis recibidas fueron inferiores al valor correspondiente al nivel 1.
3.2. Barreras y controles radiológicos en las instalaciones	No procede ya que la instalación no manipulaba grandes cantidades de material radiactivo (véase el primer párrafo de la sección 3.1).
4.2.1. Consecuencias potenciales máximas:	El valor D del $^{131}\text{I}$ es 0,2 TBq, lo que da una razón A/D entre 0,01 y 1, por lo que era una fuente de la categoría 4.
4.2.2. Eficacia de los elementos de seguridad:	Dado que el recipiente de la fuente se rompió, no quedaban elementos de seguridad, por lo que la sección C del cuadro 7 es apropiada, y da una clasificación de nivel 1.
Clasificación global:	Nivel 1.

## Ejemplo 22. Choque de un tren con bultos de material radiactivo – Nivel 1

### Descripción del suceso

Se produjo un choque entre un tren y una furgoneta de equipajes que estaba cruzando las vías en una estación.

Entre los equipajes se encontraban bultos del tipo A. Había siete cajas que contenían una serie de radionucleidos y dos bidones, cada uno con un generador de tecnecio (que utiliza molibdeno), con una actividad de 15 GBq (30 GBq al comienzo del viaje).

Al ser ligeras, las cajas solo sufrieron daños menores y no se escapó material radiactivo de ellas. En cambio, los dos bidones salieron lanzados de los bultos, y un contenedor de fuente se rompió y contaminó la cabina de la locomotora y la gravilla que había debajo de la vía. Se sometió a revisión a 291 personas para ver si estaban contaminadas, y 19 dieron resultados positivos, que resultaron no ser significativos. Todas las dosis recibidas fueron inferiores a 0,1 mSv. La contaminación resultante no fue motivo de preocupación en vista de las pequeñas cantidades de que se trataba y los cortos períodos de semidesintegración de los radioisótopos.

Se desplegó una cantidad importante de equipos de descontaminación. Se cerraron dos vías durante un día y la locomotora fue descontaminada.

### *Explicación de la clasificación*

Criterios	Explicación
2.3. Dosis a las personas:	Las dosis recibidas fueron inferiores al valor correspondiente al nivel 1.
4.2.1. Consecuencias potenciales máximas:	El valor D del $^{99}\text{Mo}$ es 300 GBq (y esto incluye los efectos del producto de desintegración, el Tc), lo que da una razón A/D entre 0,01 y 1, por lo que las fuentes eran de la categoría 4.
4.2.2. Eficacia de los elementos de seguridad:	Dado que se rompió un contenedor de fuente, no quedaban elementos de seguridad, por lo que la sección C del cuadro 7 es apropiada, y da una clasificación de nivel 1.
Clasificación global:	Nivel 1.

### **Ejemplo 23. Descubrimiento de que contenedores de transporte supuestamente vacíos contenían material nuclear – Nivel 1**

#### *Descripción del suceso*

Una planta de fabricación de combustible recibe habitualmente óxido de uranio ligeramente enriquecido en  $^{235}\text{U}$  del extranjero. El material viaja en bidones especiales sellados mecánicamente dentro de un contenedor marino. Tras sacar el material, el fabricante de combustible devuelve los bidones vacíos al suministrador.

Al recibir un contenedor con 150 bidones que supuestamente debían estar vacíos, el suministrador de óxido de uranio descubrió que, de hecho, dos bidones estaban llenos y contenían un total de 100 kg de óxido de uranio. La actividad estimada del material era de 8 GBq. Se vio que las superficies exteriores de los bidones y del contenedor marino estaban limpias. Ningún trabajador o miembro de la población recibió ninguna dosis no prevista debido a este suceso.

## Explicación de la clasificación

Criterios	Explicación
2.3. Dosis a las personas:	No se notificaron dosis debidas a este suceso.
4.2.1. Consecuencias potenciales máximas:	La criticidad no fue en este caso un problema debido al reducido enriquecimiento y, por tanto, el suceso debería clasificarse en función del valor A/D (véase el último punto de la sección 4.2.1). Aunque el valor D no se especifica en el apéndice III, figura en la Ref. [5]. En el caso de enriquecimientos inferiores al 10%, como en este caso, el valor D es tan alto que no tiene límite. Por tanto, el valor A/D es $< 0,01$ , lo que significa que el material puede tratarse como una fuente de la categoría 5.
4.2.2. Eficacia de los elementos de seguridad:	Aunque el embalaje para los bidones vacíos era el mismo que si estuviesen llenos (precinto mecánico así como las condiciones del contenedor), el etiquetado para el transporte era menos exigente y las precauciones para la manipulación fueron algo más laxas. La cuestión es que se infringieron los límites autorizados. Hubo problemas importantes de cultura de la seguridad asociados al suceso, y algunos de los elementos de seguridad facilitados fallaron. Por consiguiente, según el tercer párrafo de la sección 4.2.2, el suceso es de nivel 1.
Clasificación final:	Nivel 1.

## Ejemplo 24. Dosis sospechosa en dosímetro de película – Nivel 1

### Descripción del suceso

El registro del dosímetro de película de un técnico radiológico indicó que el nivel de exposición acumulada anual era de 95 mSv. Esto se descubrió durante el transcurso de una inspección del hospital en el que trabajaba. La autoridad reguladora inspeccionó a fondo el hospital y descubrió que el historial mensual de una de las personas indicaba 54 mSv. Sin embargo, el hospital no había adoptado medidas especiales hasta la inspección. El hospital no tiene ningún generador de radiación, como un acelerador lineal (LINAC), y no se descubrió ningún motivo aparente para la sobreexposición. Existía alguna posibilidad de que hubiera habido intención de causar daño por parte de un colega, pero no se encontraron pruebas directas. Según un examen médico, que incluyó análisis de sangre, no se encontraron anomalías. La persona tampoco presentaba síntomas que sugiriesen

un efecto determinista. La persona fue transferida a otra sección y se le brindó capacitación adicional. Partiendo del peor caso posible, es decir, que la dosis fuese real, también se le prohibió entrar en zonas controladas.

*Explicación de la clasificación*

Criterios	Explicación
2.3. Dosis a las personas:	<p>No se observaron efectos deterministas en el técnico. Aunque los análisis de sangre mostraron que no se habían recibido dosis importantes, no pudo probarse que no se había producido ninguna exposición a la radiación. Se llevó a cabo una investigación detallada para determinar si hubo o no exposición a la radiación. La investigación tuvo en cuenta lo siguiente:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1) La ausencia de fuentes de alta radiación en su lugar de trabajo habitual o en cualquier sitio al que accedió durante el período desde que se expidió el dosímetro;</li><li>2) Los colegas que estuvieron siempre cerca de ella durante los períodos de exposición potencial y cuyos dosímetros mostraron lecturas normales;</li><li>3) Los dosímetros adicionales llevados durante parte del período de interés.</li></ol> <p>Al final, se llegó a la conclusión de que no había habido exposición a la radiación y de que convenía eliminar la dosis de su historial.</p>
4.2.1. Consecuencias potenciales máximas:	No procede.
4.2.2. Eficacia de los elementos de seguridad:	Aunque el suceso no implica una dosis real, hay otros factores que forman parte del mismo, tales como no supervisar los historiales de exposición a la radiación del personal o dar seguimiento a las lecturas poco habituales. Según la fila 3 del cuadro 8, el suceso se considera de nivel 1.
Clasificación definitiva:	Nivel 1.

**Ejemplo 25. Fusión de una fuente huérfana – Nivel 2**

*Descripción del suceso*

Una fuente huérfana de 1 TBq de <sup>137</sup>Cs incluida involuntariamente en la chatarra fue fundida en una acería. Cincuenta empleados de la fábrica recibieron una dosis estimada de 0,3 mSv cada uno.

*Explicación de la clasificación*

Criterios	Explicación
2.1. Actividad emitida	Se estimó que un 10% de la actividad se emitió debido a la fusión, lo que tuvo como resultado una emisión de actividad al aire de 0,1 TBq de <sup>137</sup> Cs. El valor D <sub>2</sub> para el <sup>137</sup> Cs es 0,1 TBq, de modo que la liberación es mucho menor que el criterio para el nivel 5 de 2 500 veces el valor D <sub>2</sub> (apartado 2.2.2).
2.3. Dosis a las personas:	Las dosis recibidas fueron inferiores al valor correspondiente al nivel 1.
4.2.1. Consecuencias potenciales máximas:	El valor D para el <sup>137</sup> Cs es $1 \times 10^{-1}$ TBq, y la actividad de las fuentes (A) es 1 TBq, lo que da una razón A/D de $1\,000 > A/D \geq 10$ . Por tanto, se clasifica como fuente de la categoría 2.
4.2.2. Eficacia de los elementos de seguridad:	Según la segunda fila del cuadro 6, la clasificación debería ser de nivel 1 o nivel 2. Teniendo en cuenta que la fuente fue fundida, la clasificación definitiva debería ser de nivel 2 según la nota a/ del cuadro 6.
Clasificación definitiva:	Nivel 2.

**Ejemplo 26. Pérdida de una fuente de alta actividad para radioterapia – Nivel 3**

*Descripción del suceso*

Una comprobación del inventario de fuentes en un hospital que había estado cerrado durante un tiempo reveló que faltaba un cabezal de teleterapia que contenía una fuente de <sup>60</sup>Co de 100 TBq. La unidad había estado almacenada en una instalación especial, pero habían pasado varias semanas desde que se realizara una comprobación del inventario. Se sospechó que la unidad había sido

sacada del hospital por personas no autorizadas. Se realizó una búsqueda, y la fuente se encontró un día más tarde en un descampado a dos kilómetros de distancia. La unidad había sido desmontada y la fuente no tenía blindaje pero no estaba rota. Fue recuperada por las autoridades nacionales.

La investigación posterior indicó que varias personas habían sido expuestas como consecuencia del suceso, según se indica a continuación:

- Una persona: 20 Gy a las manos; dosis efectiva de 500 mSv. Lesiones por radiación observadas en una mano que precisaron injertos de piel y la amputación de un dedo;
- Dos personas: 2 Gy a las manos; dosis efectiva de 400 mSv;
- Doce personas: dosis efectiva de 100 mSv (el límite de dosis de cuerpo entero reglamentario anual para trabajadores era de 20 mSv).

*Explicación de la clasificación*

Criterios	Explicación
2.3. Dosis a las personas:	Tres personas recibieron dosis superiores a diez veces el límite de dosis al cuerpo entero reglamentario anual para los trabajadores. Una de estas personas sufrió un efecto en la salud. Estos dos aspectos dan una clasificación de nivel 3. Doce personas recibieron dosis superiores a 10 mSv. Según la dosis recibida, la clasificación es de nivel 2, y se debería incrementar a nivel 3 debido al número de personas afectadas.
4.2.1. Consecuencias potenciales máximas:	El valor D para el <sup>60</sup> Co es 0,03 TBq, y la razón A/D es superior a 1 000 (es decir, era una fuente/dispositivo de la categoría 1).
4.2.2. Eficacia de los elementos de seguridad:	La clasificación inicial se realizó antes de localizar la fuente. Por consiguiente, el suceso consiste en una fuente/dispositivo perdido o encontrado. Según el cuadro 6, el suceso se consideraría de nivel 3.
Clasificación definitiva:	Nivel 3.

## **5. EVALUACIÓN DEL EFECTO EN LA DEFENSA EN PROFUNDIDAD ESPECÍFICAMENTE EN RELACIÓN CON SUCESOS EN REACTORES DE POTENCIA MIENTRAS FUNCIONAN A POTENCIA**

Esta sección se ocupa de los sucesos que no tienen “consecuencias reales”, pero en los que fallaron algunos de los elementos de seguridad. La inclusión deliberada de múltiples elementos o barreras se denomina “defensa en profundidad”.

El concepto de defensa en profundidad no se explica aquí con detalle, ya que la mayoría de las personas que apliquen lo contenido en este manual a sucesos en reactores de potencia estarán familiarizadas con el mismo. Sin embargo, el anexo I proporciona material de referencia adicional.

Esta sección se aplica específicamente a la clasificación de sucesos en reactores de potencia mientras funcionan a potencia, pero también debe utilizarse para clasificar sucesos en condiciones de puesta en marcha o de parada caliente ya que la justificación de la seguridad es bastante similar a la de la operación a potencia. Sin embargo, una vez que el reactor está en parada fría, aunque algunos de los sistemas de seguridad todavía son necesarios para garantizar las funciones de seguridad, normalmente se dispone de más tiempo. Además, en condiciones de parada, las configuraciones de las barreras son a veces bastante diferentes (por ejemplo, sistema de refrigerante primario abierto, contención abierta). Por estos motivos, se propone un enfoque distinto a la clasificación de sucesos, y los sucesos durante la parada del reactor deben clasificarse, por lo general, utilizando las orientaciones de la sección 6. No obstante, si una instalación cuenta con una justificación de la seguridad aprobada basada en el enfoque del suceso iniciador y el sistema de seguridad, también será posible usar el enfoque del suceso iniciador descrito en la presente sección para clasificar sucesos.

Los sucesos en reactores que se están clausurando, en los que el combustible se ha retirado del reactor, también deben clasificarse utilizando la sección 6, al igual que los sucesos en reactores de investigación, con el fin de tener debidamente en cuenta el espectro de consecuencias potenciales máximas y la filosofía de diseño.

Naturalmente, es posible que en una instalación se lleven a cabo varias prácticas, y cada una de ellas debe estudiarse por separado dentro de este contexto. Por ejemplo, las operaciones del reactor, el trabajo en celdas calientes y el almacenamiento de desechos también deben considerarse prácticas independientes, a pesar de que todas ellas puedan tener lugar en una instalación. Los sucesos relacionados con celdas calientes o con el almacenamiento de

combustible deben clasificarse empleando las orientaciones de la sección 6. Esta sección del manual trata específicamente sucesos asociados a la operación de reactores de potencia.

El enfoque para establecer la clasificación se basa en la evaluación de la probabilidad de que el suceso pudiera haber ocasionado un accidente, no utilizando directamente técnicas probabilistas, sino considerando si se demandó la actuación de los elementos de seguridad y qué fallos adicionales de esos elementos tendrían que darse para que se produjera un accidente. Por lo tanto, se determina una “clasificación básica” tomando en consideración el número y la eficacia de los elementos de seguridad disponibles (de equipo y administrativos) para la prevención, el control y la mitigación, incluidas las barreras activas y pasivas.

A fin de tener en cuenta cualquier “factor adicional” subyacente, también se contempla la posibilidad de aumentar la “clasificación básica”. Este aumento permite tener en cuenta los aspectos del suceso que pueden indicar una degradación más profunda de la central o de la estructura organizativa de la instalación. Los factores considerados son los fallos de causa común, las deficiencias de procedimiento y las cuestiones de cultura de la seguridad. Estos factores pueden no haberse incluido en la clasificación básica y pueden indicar que la importancia del suceso con respecto a la defensa en profundidad es mayor que la considerada en el proceso de clasificación básica. Por consiguiente, se tiene en cuenta la posibilidad de aumentar la clasificación en un nivel a fin de comunicar al público la verdadera importancia del suceso.

Las otras dos secciones sobre la defensa en profundidad dan pautas relacionadas con las “consecuencias potenciales máximas” de los sucesos. No obstante, no es preciso examinar este aspecto aquí dado que el inventario de un reactor de potencia es tal que, si fallasen todos los elementos de seguridad, podría darse un accidente con categoría de nivel 5 o superior. El nivel máximo en función de la defensa en profundidad es, por tanto, el nivel 3.

Esta sección del manual está dividida en tres secciones principales. La primera da orientaciones para determinar la clasificación básica de sucesos que tienen lugar mientras el reactor funciona a potencia (conocidas como el “enfoque del suceso iniciador”). La segunda sección (sección 5.2) da orientaciones relacionadas con el aumento de la categoría de los sucesos. La sección 5.3 presenta una serie de ejemplos prácticos.

## 5.1. DETERMINACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN BÁSICA TENIENDO EN CUENTA LA EFICACIA DE LOS ELEMENTOS DE SEGURIDAD

Dado que el análisis de seguridad para instalaciones con reactor durante la operación a potencia se ajusta a una práctica internacional común, es posible dar una pautas bastante específicas sobre cómo evaluar los elementos de seguridad en el caso de sucesos relacionados con reactores a potencia. El enfoque se fundamenta en el estudio de los iniciadores, las funciones de seguridad y los sistemas de seguridad. Aunque estos términos resultarán familiares para las personas que participan en el análisis de seguridad, a continuación se explican más detalladamente.

Un iniciador o suceso iniciador es un suceso determinado que da lugar a una desviación de un estado operacional normal y que activa una o más funciones de seguridad. Los iniciadores se utilizan en el análisis de seguridad para evaluar la idoneidad de los sistemas de seguridad instalados; el iniciador es un hecho que activa los sistemas de seguridad y hace que se pongan en funcionamiento.

Los sucesos que repercuten en la defensa en profundidad adoptarán por lo general dos formas posibles:

- 1) bien incluyen un iniciador (suceso iniciador) que requiere el funcionamiento de algún sistema de seguridad concreto diseñado para hacer frente a las consecuencias de este iniciador, bien
- 2) incluyen la operabilidad degradada de uno o más sistemas de seguridad sin que se dé el iniciador para el que se han previsto los sistemas de seguridad.

En ambos casos, y habida cuenta de que varios sistemas de seguridad pueden contribuir a una función de seguridad, el nivel de operabilidad de los sistemas de seguridad da lugar a un nivel de operabilidad de la función de seguridad global. Este nivel de operabilidad de la función de seguridad es lo importante al determinar la clasificación.

En el primer caso, la clasificación del suceso depende principalmente del alcance de la degradación de la operabilidad de la función de seguridad. La clasificación también depende, no obstante, de la frecuencia prevista del iniciador concreto que se haya producido.

En el segundo caso, en realidad no se produce ninguna desviación del funcionamiento normal de la central, pero la degradación observada de la operabilidad de la función de seguridad podría haber tenido consecuencias significativas si se hubiese producido uno de los iniciadores para los que se han diseñado los sistemas de seguridad degradados. En tal caso, la clasificación del suceso depende tanto de:

- la frecuencia prevista del iniciador potencial; como de
- la operabilidad de la función de seguridad conexas garantizada por la operabilidad de sistemas de seguridad concretos.

Cabe observar que un suceso concreto podría clasificarse con arreglo a ambos casos (véanse las secciones 5.1.3 y 5.1.4, así como el ejemplo 35).

Para ilustrar los principios anteriores, tómese en consideración un reactor en el que la protección contra una pérdida del suministro eléctrico exterior viene dada por cuatro motores diesel esenciales. Para que se produzca un accidente, el suceso debe activar la seguridad del reactor (en este ejemplo, la pérdida del suministro eléctrico del exterior (LOOP)) y la protección debe fallar (en este ejemplo, no arranca ningún motor). La amenaza inicial para la seguridad de la central (en el ejemplo, la LOOP) se denomina el ‘iniciador’ y la respuesta de los motores diesel está definida por la ‘operabilidad de la función de seguridad’ (en este ejemplo, la refrigeración tras el disparo). Por lo tanto, para que ocurra un accidente, son necesarios un iniciador y la operabilidad inapropiada de una función de seguridad.

La clasificación en función de la defensa en profundidad permite evaluar qué más tiene que suceder para que se produzca el accidente (es decir, si se ha producido el iniciador, cuál era la probabilidad de que ocurriera y cuál era la operabilidad de las funciones de seguridad). En el ejemplo anterior, si se hubiese perdido el suministro eléctrico exterior pero todos los motores diesel hubiesen arrancado como estaba previsto, hubiese sido poco probable que se produjera un accidente (ese suceso se hubiese clasificado como Debajo de la escala / Nivel 0). De igual modo, si un motor diesel se hubiese averiado durante una prueba, pero el resto estuviese disponible y el suministro exterior también, entonces sería poco probable que se produjera un accidente (de nuevo, un suceso así se clasificaría como Debajo de la escala / Nivel 0).

Sin embargo, si durante la operación a potencia se descubriese que ninguno de los motores diesel había estado disponible durante un mes, aunque hubiese habido suministro eléctrico del exterior y no hubiesen sido necesarios los motores diesel era relativamente probable que se produjera un accidente ya que la posibilidad de perder el suministro eléctrico del exterior era relativamente alta (un suceso así probablemente se clasificaría como nivel 3, siempre y cuando no hubiese otros elementos de seguridad).

Por consiguiente, en el procedimiento de clasificación se considera si se había demandado la actuación de las funciones de seguridad (si hubiese tenido lugar un iniciador), cuál era la probabilidad supuesta de que se produjera el iniciador y cuál era la operabilidad de las funciones de seguridad pertinentes.

El enfoque básico de la clasificación de sucesos consiste en determinar la frecuencia de los iniciadores pertinentes y la operabilidad de las funciones de

seguridad afectadas. Se emplean después dos cuadros para establecer la clasificación básica adecuada (véanse las secciones 5.1.3 y 5.1.4). A continuación se dan orientaciones detalladas sobre cada aspecto de la clasificación.

### 5.1.1. Determinación de la frecuencia del iniciador

Se han definido cuatro categorías de frecuencia diferentes:

- 1) *Prevista*  
Incluye los iniciadores que se prevé que ocurran una o varias veces durante la vida operacional de la central (es decir,  $> 10^{-2}$  por año).
- 2) *Posible*  
Iniciadores que no se prevén pero que tienen una frecuencia (f) prevista durante la vida útil de la central superior a aproximadamente un 1% (es decir,  $10^{-4} < f < 10^{-2}$  por año).
- 3) *Improbable*  
Iniciadores tomados en consideración en el diseño de la central que son menos probables que los anteriores ( $\leq 10^{-4}$  por año).
- 4) *Más allá del diseño*  
Iniciadores de frecuencia muy baja que normalmente no se incluyen en el análisis de seguridad convencional de la central. Cuando se introducen sistemas de protección contra estos iniciadores, no incluyen forzosamente el mismo nivel de redundancia o diversidad que las medidas contra los iniciadores base de diseño.

Como parte de su análisis de seguridad, cada reactor tiene su propia lista y clasificación de iniciadores, que deben utilizarse al clasificar sucesos. En el anexo II se dan ejemplos habituales de iniciadores base de diseño que se han empleado en el pasado para distintos sistemas de reactor, clasificados en las categorías de frecuencia anteriores. Estos ejemplos pueden servir de guía al aplicar el proceso de clasificación, pero es importante usar, siempre que sea posible, los iniciadores y las frecuencias específicos de la central donde se produjo el suceso.

En los iniciadores no se incluyen las pequeñas perturbaciones de la central que son corregidas por los sistemas de control (en contraposición a los de seguridad). No obstante, si los sistemas de control no pueden estabilizar el reactor, esto dará lugar finalmente a un iniciador. Por estos motivos, el iniciador puede ser distinto del hecho que inicia el suceso (véase el ejemplo 36); por otro lado, una serie de secuencias de sucesos diferentes a menudo pueden agruparse bajo un solo iniciador.

Para muchos sucesos será necesario tomar en consideración más de un iniciador, y cada uno ellos dará lugar a una clasificación. La clasificación del

suceso será la más alta de las clasificaciones asociadas a cada iniciador. Por ejemplo, un transitorio de potencia en un reactor podría ser un iniciador que activa la función de protección. Si el sistema de protección funciona adecuadamente se produciría una parada. Sería entonces necesario considerar el disparo del reactor como un iniciador que demanda la actuación de la función de refrigeración del combustible.

### **5.1.2. Operabilidad de las funciones de seguridad**

Las tres funciones de seguridad básicas para la operación del reactor son:

- 1) el control de la reactividad;
- 2) la refrigeración del combustible; y
- 3) el confinamiento del material radiactivo.

Estas funciones se llevan a cabo mediante sistemas pasivos (como barreras físicas) y sistemas activos (como el sistema de protección del reactor). Varios sistemas de seguridad pueden contribuir a una función de seguridad concreta, función que se puede llegar a desempeñar aun cuando un sistema no esté disponible. Tras un iniciador, los sistemas que no son de seguridad también pueden contribuir al desempeño de una función de seguridad particular (véase la explicación bajo la definición de Adecuada (C)). Del mismo modo, se precisarán sistemas de apoyo como suministros eléctricos, de refrigeración y de instrumentos para garantizar el desempeño de la función de seguridad. Cuando se clasifican sucesos es importante evaluar la operabilidad de la función de seguridad, no la de un sistema individual. Un sistema o componente se considera operable cuando es capaz de realizar su función requerida de la manera en que se requiere.

Los límites y condiciones operacionales (LCO) de una central rigen la operabilidad de cada sistema de seguridad. En la mayor parte de los países se incluyen en las especificaciones técnicas de las centrales.

La operabilidad de una función de seguridad correspondiente a un iniciador específico puede ir desde un estado en el que todos los componentes de los sistemas de seguridad facilitados para realizar esa función son plenamente operables hasta un estado en el que la operabilidad es insuficiente para lograr la función de seguridad. A fin de proporcionar un marco para la clasificación de sucesos, se toman en consideración cuatro categorías de operabilidad.

### *A. Plena*

Se da cuando todos los sistemas y componentes de seguridad que proporciona el diseño para hacer frente al iniciador concreto a fin de limitar sus consecuencias funcionan plenamente (es decir, existe redundancia/diversidad).

### *B. Mínima requerida por los límites y condiciones operacionales*

En este caso la operabilidad de cada uno de los sistemas de seguridad requeridos para proporcionar la función de seguridad satisface el nivel mínimo para que pueda continuar la operación a potencia (posiblemente durante un tiempo limitado), tal como se especifica en los límites y condiciones operacionales.

Este nivel de operabilidad corresponderá generalmente a la operabilidad mínima de los distintos sistemas de seguridad que permite desempeñar la función de seguridad en relación con todos los iniciadores contemplados en el diseño de la central. No obstante, para ciertos iniciadores concretos, puede seguir existiendo redundancia y diversidad.

### *C. Adecuada*

En este caso, la operabilidad de al menos uno de los sistemas de seguridad requeridos para desempeñar la función de seguridad es suficiente para lograr la función de seguridad cuya actuación demanda el iniciador que está considerándose.

En algunos casos, las categorías B y C pueden ser igual (es decir, la operabilidad es inadecuada a no ser que todos los sistemas de seguridad satisfagan los requisitos de los LCO). En otros casos, la categoría C corresponderá a un nivel de operabilidad inferior al requerido por los LCO. Un ejemplo de ello sería cuando los LCO requieren que cada uno de los diversos sistemas de seguridad sean operables, pero solo uno lo es. Otro sería cuando todos los sistemas de seguridad que están diseñados para garantizar una función de seguridad son inoperables durante un tiempo tan breve que la función de seguridad se puede seguir garantizando, aunque los sistemas de seguridad no cumplan los requisitos de los LCO (por ejemplo, la función de seguridad relativa a la 'refrigeración del combustible' puede estar garantizada si se produce un apagón total de la central únicamente durante un corto tiempo). Al identificar la eficacia de estas disposiciones, es importante tener en cuenta el tiempo disponible y el tiempo requerido para determinar e implementar las medidas correctoras apropiadas.

También es posible que la función de seguridad sea adecuada debido a la operabilidad de sistemas no relacionados con la seguridad (véase el ejemplo 40). Los sistemas no relacionados con la seguridad también pueden tomarse en consideración si se ha probado (o se conoce) su operabilidad durante el suceso. Sin embargo, conviene ser prudente al incluir sistemas no relacionados con la seguridad, ya que su operabilidad normalmente no se controla ni comprueba del mismo modo que en el caso de los sistemas de seguridad.

#### *D. Inadecuada*

La operabilidad de los sistemas de seguridad es tal que ninguno de esos sistemas puede lograr la función de seguridad cuya actuación demanda el iniciador que está siendo considerado.

Cabe observar que aunque las categorías de operabilidad C y D representan un espectro de estados de la central, las categorías A y B representan operabilidades específicas. Por lo tanto, la operabilidad real puede estar entre la definida por las categorías de operabilidad A y B (es decir, la operabilidad puede ser menos que *plena* pero superior al mínimo permitido para la operación a potencia continuada). Esto se estudia en la sección 5.1.3.

### **5.1.3. Evaluación de la clasificación básica en el caso de sucesos con iniciador real**

Para obtener una clasificación básica, primero hay que decidir si hubo una demanda real de actuación de los sistemas de seguridad (un iniciador real). Si fue así, entonces esta es la sección correcta; si no, la sección 5.1.4 es la adecuada. Podría ser necesario estudiar un suceso remitiéndose a ambas secciones si se produce un iniciador y revela una operabilidad reducida en un sistema no activado por el iniciador real (por ejemplo, si un disparo del reactor sin pérdida de suministro eléctrico exterior revela una operabilidad reducida de los motores diesel).

Se emplea un enfoque similar para sucesos que implican fallos potenciales que podrían haber dado lugar a un iniciador (por ejemplo, el descubrimiento de defectos estructurales o pequeñas fugas a las que pone fin la acción de un operador), pero también es necesario tomar en consideración la probabilidad de que se produzca el iniciador potencial. Esto se explica en la sección 5.1.5.

#### 5.1.3.1. Base para la clasificación

En el cuadro 9 se dan las clasificaciones apropiadas para sucesos con un iniciador real. El fundamento de los valores dados en el cuadro es el siguiente.

Evidentemente, si una función de seguridad es *inadecuada*, se habrá producido un accidente que deberá clasificarse en función de sus consecuencias reales. Esa clasificación bien podría superar el nivel 3. Desde el punto de vista de la defensa en profundidad, no obstante, el nivel 3 representa la clasificación más alta. Esto queda expresado con la cifra 3+ en el cuadro 9.

Si la función de seguridad es simplemente *adecuada*, entonces el nivel 3 es, de nuevo, apropiado ya que un fallo más daría lugar a un accidente. Sin embargo, en otros casos, aunque la operabilidad sea menor que la requerida por los LCO, puede ser considerablemente mayor que solo *adecuada*, en particular cuando se trate de iniciadores *previstos* ya que con frecuencia los requisitos de los LCO siguen incorporando una redundancia o diversidad importante. Por consiguiente, en el cuadro 9 se indica el nivel 2 o 3 para iniciadores previstos y una función de seguridad *adecuada*, y la elección dependerá del grado en el que la operabilidad sea más que simplemente la *adecuada*. En el caso de iniciadores *improbables*, es probable que la operabilidad requerida por los LCO sea solo *adecuada* y, por tanto, en general, el nivel 3 sería apropiado para la operabilidad *adecuada*. No obstante, puede haber iniciadores concretos en relación con los cuales haya redundancia y, por consiguiente, el cuadro 9 indica el nivel 2 o 3 para todas las frecuencias de iniciador.

Si existe una operabilidad *plena* de la función de seguridad y se produce un iniciador *previsto*, claramente debería clasificarse como Debajo de la escala / Nivel 0, tal como figura en el cuadro 9. No obstante, el hecho de que se produzca un iniciador *posible* o *probable*, aun cuando haya una redundancia considerable en los sistemas de seguridad, representa un fallo de una de las partes importantes de la defensa en profundidad, concretamente la prevención de iniciadores. Por este motivo, el cuadro 9 indica el nivel 1 para iniciadores *posibles* y el nivel 2 para iniciadores *improbables*.

Si la operabilidad de las funciones de seguridad es la *mínima requerida por los LCO*, en algunos casos, tal como ya se ha indicado, no habrá redundancia adicional para los iniciadores *posibles* ni, particularmente, para los *improbables*. Por lo tanto, el nivel 2 o el nivel 3 será apropiado, según la redundancia que quede activa. En el caso de iniciadores *previstos* habrá redundancia adicional y, por tanto, se propone una clasificación más baja. El cuadro 9 indica el nivel 1 o 2 y, de nuevo, el valor elegido dependerá de la redundancia adicional dentro de la función de seguridad. Cuando la disponibilidad de la función de seguridad sea mayor que la *mínima requerida por los LCO* pero menor que la *plena*, puede que haya una redundancia y diversidad considerables disponibles para los iniciadores

CUADRO 9. SUCESOS CON UN INICIADOR REAL

Operabilidad de la función de seguridad		Frecuencia del iniciador		
		(1) Prevista	(2) Posible	(3) Improbable
A	Plena	0	1	2
B	Mínima requerida por los límites y condiciones operacionales	1 o 2	2 o 3	2 o 3
C	Adecuada	2 o 3	2 o 3	2 o 3
D	Inadecuada	3+	3+	3+

*previstos*. En tales casos, la clasificación Debajo de la escala / Nivel 0 sería más apropiada.

#### 5.1.3.2. Procedimiento de clasificación

Con los antecedentes descritos en la sección anterior, los sucesos deben clasificarse utilizando el siguiente procedimiento:

- 1) Identificar el iniciador que se ha producido.
- 2) Determinar la categoría de frecuencia asignada a ese iniciador. Al decidir la categoría apropiada, lo relevante es la frecuencia supuesta en la justificación de la seguridad (es decir, la justificación de la seguridad de la central y su entorno operativo).
- 3) Determinar la categoría de operabilidad de las funciones de seguridad activadas por el iniciador.
  - a) Es importante que solo se tomen en consideración las funciones de seguridad activadas por el iniciador. Si se descubre la degradación de otros sistemas de seguridad, ésta debe evaluarse remitiéndose al apartado sobre *sucesos sin iniciador real* de la sección 5.1.4, utilizando el iniciador que habría demandado la actuación de ese sistema de seguridad.
  - b) Al decidir si la operabilidad se encuentra dentro de los LCO, deben estudiarse los requisitos de operabilidad antes del suceso, no los que se aplican durante el suceso.
  - c) Si la operabilidad está dentro de los LCO pero es también meramente *adecuada*, debe usarse la categoría C de operabilidad ya que no existe redundancia adicional (véanse los párrafos anteriores de esta sección).

- 4) La clasificación del suceso debe determinarse entonces a partir del cuadro 9. Cuando se da una alternativa de clasificación, la elección debe basarse en el grado de redundancia y diversidad disponibles para el iniciador que se está considerando.
- a) Si la operabilidad de la función de seguridad es tan solo *adecuada* (es decir, un fallo más habría dado lugar a un accidente), entonces el nivel 3 es apropiado.
  - b) En la celda B1 del cuadro 9, convendría utilizar el valor menor si todavía se dispusiera de una redundancia y/o diversidad considerables.
  - c) En algunos diseños de reactor, se dispone de una gran cantidad de redundancia/diversidad para los iniciadores *previstos*. Si la operabilidad de la función de seguridad es considerablemente mayor que la *mínima requerida por los LCO*, pero algo menor que la *plena*, Debajo de la escala / Nivel 0 sería más apropiado.

En el cuadro 9 no se incluyen específicamente iniciadores *más allá del diseño*. Si tiene lugar un iniciador de este tipo, entonces puede producirse un accidente, lo que requeriría una clasificación basada en las consecuencias reales. Si no, el nivel 2 o el nivel 3 serían apropiados en función de la defensa en profundidad, dependiendo de la redundancia los sistemas que dan protección.

El hecho de que se den peligros internos y externos como incendios, inundaciones, maremotos, explosiones, huracanes, tornados o terremotos puede clasificarse mediante el cuadro 9. El peligro propiamente dicho no debe considerarse el iniciador (ya que aquél puede dar lugar a iniciadores, a la degradación de los sistemas de seguridad o a ambos), sino que los sistemas de seguridad que sigan siendo operables deben evaluarse con respecto a un iniciador que se haya producido y/o a iniciadores potenciales.

#### **5.1.4. Evaluación de la clasificación básica para sucesos sin iniciador real**

Tal como se ha examinado en la sección anterior, para obtener una clasificación básica se debe decidir, en primer lugar, si hubo una demanda real de actuación de los sistemas de seguridad (un iniciador real). Si fue así, deberá consultarse la sección 5.1.3; si no, ésta es la sección adecuada. Podría ser necesario estudiar un suceso aplicando ambas secciones si se produce un iniciador y revela la operabilidad reducida de un sistema no activado por el iniciador real (por ejemplo, si un disparo del reactor sin pérdida de suministro eléctrico del exterior revela una operabilidad reducida de los motores diesel).

Se emplea un enfoque similar para sucesos que implican fallos potenciales que podrían haber dado lugar a la inoperabilidad de sistemas de seguridad (por ejemplo, el descubrimiento de defectos estructurales), pero es necesario tener en

cuenta la probabilidad de la inoperabilidad del sistema de seguridad. Esto se explica en la sección 5.1.5.

#### 5.1.4.1. Base para la clasificación

En el cuadro 10 se dan las clasificaciones apropiadas para sucesos sin un iniciador real. El fundamento de los valores dados en el cuadro es el siguiente.

La clasificación de un suceso dependerá del alcance de la degradación de las funciones de seguridad y de las probabilidades de que se dé el iniciador para el que se proporcionaron. En sentido estricto, se trata de la probabilidad de que se dé el iniciador durante el período de degradación de la función de seguridad, pero en general, la metodología no toma en consideración el período de tiempo. No obstante, si el período de degradación es muy corto, puede ser apropiado un nivel más bajo que el que se da en el cuadro 10 (véase la sección 5.1.4.2).

Si la operabilidad de una función de seguridad es *inadecuada*, entonces se evitó un accidente únicamente porque no se produjo un iniciador. Para tal suceso, el nivel 3 es apropiado si la función de seguridad se precisa en el caso de los iniciadores *previstos*. Si la función de seguridad *inadecuada* solo se precisa para iniciadores *posibles* o *improbables*, es evidente que un nivel inferior será apropiado porque la probabilidad de que haya un accidente es menor. Por este motivo, el cuadro 10 indica el nivel 2 para iniciadores *posibles* y nivel 1 para iniciadores *improbables*.

Evidentemente, el nivel escogido debe ser menor cuando la función de seguridad es *adecuada* que cuando es *inadecuada*. Por lo tanto, si la función se precisa para iniciadores *previstos* y la operabilidad es solo *adecuada*, el nivel 2 será apropiado. No obstante, en varios casos, la operabilidad de la función de seguridad puede ser considerablemente superior a solo la *adecuada*, pero no estar dentro de los límites y condiciones operacionales. Esto se debe a que, a menudo, la *operabilidad mínima requerida por los límites y condiciones operacionales* sigue incorporando redundancia y/o diversidad frente a algún iniciador *previsto*. En tales situaciones, el nivel 1 será más apropiado. Por consiguiente, en el cuadro 10 se indica que se puede elegir entre el nivel 1 y el nivel 2. El valor adecuado deberá elegirse en función de la redundancia y/o diversidad que quede activa.

Si la función de seguridad se precisa para iniciadores *posibles* o *improbables*, entonces una reducción en uno del nivel obtenido anteriormente para un sistema *inadecuado* da el nivel 1 para iniciadores *posibles* y Debajo de la escala / Nivel 0 para iniciadores *improbables*. No se considera apropiado, sin embargo, clasificar como Debajo de la escala / Nivel 0 una reducción de la operabilidad de un sistema de seguridad por debajo de la requerida por los LCO. Por lo tanto, en el cuadro 10 se indica el nivel 1 tanto para iniciadores *posibles* como para *improbables*.

Si la operabilidad de la función de seguridad es plena o está dentro de los LCO, la central ha permanecido dentro de su entorno operativo seguro y la categoría Debajo de la escala / Nivel 0 es apropiada para todas las frecuencias de iniciadores. Por consiguiente, el cuadro 10 indica la categoría Debajo de la escala / Nivel 0 en cada celda de las filas A y B.

5.1.4.2. Procedimiento de clasificación

Habida cuenta de la información facilitada en la sección anterior, los sucesos deben clasificarse utilizando el siguiente procedimiento:

- 1) Determinar la categoría de operabilidad de la función de seguridad.
  - a) Si la operabilidad es tan solo *adecuada* pero se encuentra todavía dentro de los LCO, debe utilizarse la categoría de operabilidad B ya que la central ha permanecido dentro de su entorno operativo seguro.
  - b) En la práctica, los sistemas o componentes de seguridad pueden encontrarse en un estado que no se describa totalmente en ninguna de las cuatro categorías. La operabilidad de la función de seguridad puede ser inferior a *plena* pero superior a la *mínima requerida por los LCO*, o puede que un sistema completo esté disponible pero degradado por la pérdida de indicaciones. En tales casos, deben emplearse las categorías pertinentes para expresar el alcance posible de la clasificación, y criterio propio para determinar la clasificación apropiada.
- 2) Determinar la categoría de frecuencia del iniciador para el que se precisa la función de seguridad.
  - a) Si hay más de un iniciador pertinente, entonces debe considerarse cada uno de ellos y utilizarse el que tenga la clasificación más alta.
  - b) Si la frecuencia está en el límite entre dos categorías, pueden utilizarse ambas para determinar el alcance posible de la clasificación, y a continuación aplicar un criterio propio.

CUADRO 10. SUCESOS SIN UN INICIADOR REAL

Operabilidad de la función de seguridad		Frecuencia del iniciador		
		(1)	(2)	(3)
		Prevista	Posible	Improbable
A	Plena	0	0	0
B	Mínima requerida por los LCO	0	0	0
C	Adecuada	1 o 2	1	1
D	Inadecuada	3	2	1

- c) En el caso de sistemas específicamente facilitados para la protección contra peligros, el peligro debe considerarse el iniciador.
- 3) La clasificación del suceso debe obtenerse a partir del cuadro 10.
  - a) Si el período de inoperabilidad fue muy breve en comparación con el intervalo entre pruebas de los componentes del sistema de seguridad (por ejemplo, un par de horas para un componente con un período mensual entre pruebas), hay que contemplar la posibilidad de reducir la clasificación básica del suceso.
  - b) En la celda C1 del cuadro, en la que se da una alternativa de clasificación, la elección debe basarse en si la operabilidad es solo *adecuada* o si sigue habiendo redundancia y/o diversidad en relación con el iniciador que se está considerando.

En el cuadro 10 no se incluyen específicamente iniciadores *más allá del diseño*. Si la operabilidad de la función de seguridad afectada es menor que la *mínima requerida por los LCO*, entonces el nivel 1 es apropiado. Si la operabilidad está dentro de los requisitos de los LCO, o éstos no imponen ninguna limitación en la operabilidad del sistema, entonces la categoría Debajo de la escala / Nivel 0 es apropiada.

#### **5.1.5. Sucesos potenciales (incluidos defectos estructurales)**

Aunque algunos sucesos no dan origen por sí mismos a un iniciador o a la degradación de la operabilidad de un sistema de seguridad, suponen un aumento de la probabilidad de que se produzca un suceso de ese tipo. Ejemplos de ello son el descubrimiento de defectos estructurales o la contención de una fuga por el personal de operación. El enfoque general para clasificar estos sucesos es el siguiente. En primer lugar, hay que evaluar la importancia del suceso potencial partiendo del supuesto de que éste ha tenido lugar realmente y aplicando la sección 5.1.3 o 5.1.4 en función de la operabilidad de los elementos de seguridad que había en ese momento. La elección de sección depende de si el suceso potencial fue un iniciador o una degradación de un sistema de seguridad. En segundo lugar, conviene reducir la clasificación dependiendo de la probabilidad de que el suceso potencial pudiera haber evolucionado a partir del suceso que realmente aconteció. El nivel al que deberá reducirse la clasificación ha de basarse en un criterio propio.

Uno de los ejemplos más comunes de sucesos potenciales es el descubrimiento de defectos estructurales. El programa de vigilancia tiene por objeto identificar defectos estructurales antes de que alcancen proporciones inadmisibles. Si el defecto no las alcanza, entonces la categoría Debajo de la escala / Nivel 0 será apropiada.

Si el suceso consiste en el descubrimiento de un defecto más grande de lo previsto dentro del programa de vigilancia, la clasificación del suceso ha de tener en cuenta dos factores.

Primeramente, la clasificación del suceso potencial se debe determinar suponiendo que el defecto ha dado lugar al fallo del componente y aplicando la sección 5.1.3 o la sección 5.1.4. Si el defecto se encuentra en un sistema de seguridad, la aplicación de la sección 5.1.4 dará la clasificación básica del suceso potencial. Quizá resulte necesario tomar en consideración la posibilidad de un fallo de modo común. Si el fallo del componente que tiene el defecto podría haber dado lugar a un iniciador, la aplicación de la sección 5.1.3 dará la clasificación básica del suceso potencial. Aunque el defecto puede haberse detectado durante una parada, su importancia debe considerarse durante el tiempo en que probablemente ha existido.

La clasificación del suceso potencial así obtenida debe ajustarse luego en función de la probabilidad de que el defecto pudiera haber dado lugar a un fallo de componente y teniendo en cuenta los factores adicionales analizados en la sección 5.2.

#### **5.1.6. Sucesos en la categoría Debajo de la escala / Nivel 0**

En general, los sucesos deben clasificarse como Debajo de la escala / Nivel 0 únicamente si la aplicación de los procedimientos descritos anteriormente no da lugar a una clasificación más elevada. No obstante, siempre y cuando no sea aplicable ninguno de los factores adicionales examinados en la sección 5.2, los siguientes tipos de sucesos son característicos de los que se clasificarán como Debajo de la escala / Nivel 0.

- Disparo del reactor de forma normal;
- Funcionamiento espurio<sup>17</sup> de los sistemas de seguridad, seguido de una vuelta a la operación normal sin afectar a la seguridad de la instalación;
- Fuga de refrigerante a un ritmo que no sobrepasa los LCO;
- Fallos puntuales o inoperabilidad de componentes en un sistema redundante, descubiertos durante una inspección o prueba periódica programada.

---

<sup>17</sup> En este sentido, un funcionamiento espurio incluye el funcionamiento de un sistema de seguridad como consecuencia del mal funcionamiento de un sistema de control, de los instrumentos o un error humano. No obstante, el accionamiento del sistema de seguridad iniciado por variaciones en parámetros físicos que hayan sido provocadas por acciones no deliberadas en otros lugares de la central no se considera una iniciación espuria del sistema de seguridad.

## 5.2. CONSIDERACIÓN DE FACTORES ADICIONALES

Existen aspectos concretos que pueden activar simultáneamente distintas barreras de la defensa en profundidad y han de considerarse, por consiguiente, factores adicionales que pueden justificar la clasificación de un suceso un nivel por encima del que resulta de las orientaciones anteriores.

Los factores adicionales principales que actúan así son:

- Fallos de causa común;
- Deficiencias de procedimiento;
- Cuestiones relativas a la cultura de seguridad.

Debido a tales factores, es posible que un suceso sea considerado de nivel 1, aunque no revista importancia para la seguridad por sí solo sin tener en cuenta estos factores adicionales.

Cuando se evalúa el aumento de la clasificación básica debido a estos factores, es necesario tomar en consideración los siguientes aspectos:

- 1) Teniendo en cuenta todos los factores adicionales, la clasificación de un suceso solo puede aumentarse en un nivel.
- 2) Algunos de los factores anteriores pueden haberse incluido ya en la clasificación básica (por ejemplo, el fallo de modo común). Por lo tanto, es importante asegurarse de que esos fallos no se contabilizan dos veces.
- 3) El suceso no se puede clasificar por encima del nivel 3, y este límite superior para la defensa en profundidad solo puede aplicarse a las situaciones en las que hubiese tenido lugar un accidente si se hubiese producido otro suceso más (bien un iniciador *previsto*, bien otro fallo de componente).

### 5.2.1. Fallos de causa común

Un fallo de causa común es el fallo que se produce cuando una serie de dispositivos o componentes no realizan su función a raíz de un único suceso o causa específicos. En particular, puede provocar el fallo de componentes o dispositivos redundantes cuya finalidad es realizar la misma función de seguridad. Esto puede indicar que la fiabilidad de la función de seguridad en su conjunto podría ser mucho menor de lo previsto. La gravedad de un suceso que afecta a un componente, el cual identifica un fallo potencial de causa común que afecta a otros componentes similares, es, por tanto, mayor que la de un suceso que supone el fallo aleatorio del componente.

Los sucesos en los que hay dificultades para operar algunos sistemas como consecuencia de falta de información o de información engañosa también se pueden tomar en consideración para aumentar la clasificación sobre la base de un fallo de causa común.

### **5.2.2. Deficiencias de procedimiento**

La demanda de actuación de varias barreras de la defensa en profundidad de forma simultánea puede darse debido a las deficiencias de los procedimientos. Tales deficiencias son también, por tanto, un posible motivo para aumentar la clasificación básica.

Algunos ejemplos son:

- Instrucciones incorrectas o inadecuadas dadas al personal de operación para hacer frente a un suceso (esto sucedió, por ejemplo, durante el accidente de Three Mile Island en 1979. Los procedimientos que debía emplear el personal de operación en relación con la inyección de seguridad no eran los indicados para la situación particular de pérdida de refrigerante en la fase de vapor del presurizador).
- Deficiencias en el programa de vigilancia puestas de relieve por anomalías no descubiertas durante los procedimientos normales o no disponibilidad de sistemas/equipos muy por encima del intervalo entre pruebas.

### **5.2.3. Cuestiones relativas a la cultura de seguridad**

La cultura de seguridad se ha definido como el conjunto de características y actitudes en organizaciones e individuos que establece, como prioridad absoluta, que las cuestiones de protección y de seguridad reciban la atención exigida por su importancia. Una buena cultura de seguridad ayuda a evitar incidentes pero, por otra parte, la ausencia de cultura de seguridad podría tener como resultado la realización de tareas por el personal de operación de formas que no se ajusten a los supuestos del diseño. Por lo tanto, la cultura de seguridad se ha de considerar parte de la defensa en profundidad y, por consiguiente, las cuestiones relativas a la cultura de seguridad podrían justificar el aumento en un nivel de la clasificación de un suceso (INSAG 4 [7] da más información sobre la cultura de seguridad).

Para que se justifique un aumento de la clasificación debido a cuestiones relativas a la cultura de seguridad, el suceso ha de considerarse un indicador real de un problema en la cultura de seguridad.

### 5.2.3.1. Violación de los LCO

Uno de los indicadores más fácilmente definidos de un problema en la cultura de seguridad es una violación de los LCO.

Los LCO describen la operabilidad mínima de los sistemas de seguridad de manera que la operación se realice respetando los requisitos de seguridad del reactor. También pueden incluir la operación con una disponibilidad reducida del sistema de seguridad por un tiempo limitado. En la mayor parte de los países los LCO se incluyen en las especificaciones técnicas. Además, en caso de que no se satisfagan los LCO, las especificaciones técnicas describen las medidas que se han de adoptar, incluidos los tiempos permitidos para la recuperación así como el estado de repliegue apropiado.

Si se descubre que la disponibilidad de un sistema es menor que la definida para la categoría B (por ejemplo, tras una prueba rutinaria), pero se toman las medidas adecuadas para garantizar el estado seguro del reactor de acuerdo con las especificaciones técnicas, el suceso debe clasificarse como se describe en las secciones 5.1.3 y 5.1.4, si bien la clasificación básica no debe incrementarse ya que se han seguido los requisitos de las especificaciones técnicas.

Si la operabilidad de una función de seguridad está dentro de lo definido para la categoría B, pero el personal de operación permanece en estado de disponibilidad más tiempo del permitido (según se define en las especificaciones técnicas), la clasificación básica será de nivel 0, si bien la clasificación se deberá aumentar al nivel 1 debido a cuestiones relativas a la cultura de seguridad.

De igual modo, si el personal de operación emprende una acción deliberada debida a la cual la disponibilidad de la central queda fuera de los LCO, habrá que considerar la posibilidad de aumentar la clasificación básica del suceso por cuestiones relativas a la cultura de seguridad.

Además de los LCO oficiales, algunos países introducen en sus especificaciones técnicas otros requisitos, como límites relacionados con la seguridad a largo plazo de los componentes. En el caso de sucesos en los que tales límites se rebasan durante un corto tiempo, la categoría Debajo de la escala / Nivel 0 podría ser más apropiada.

### 5.2.3.2. Otras cuestiones relativas a la cultura de seguridad

Otros ejemplos de indicadores de problemas en la cultura de seguridad pueden ser:

- la violación de un procedimiento sin autorización previa;
- una deficiencia en el proceso de garantía de calidad;
- una acumulación de errores humanos;

- la exposición a partir de un único suceso de un miembro de la población por encima de los límites de dosis reglamentarios anuales;
- la exposición acumulada de los trabajadores o de los miembros de la población por encima de los límites de dosis reglamentarios anuales;
- el no mantenimiento de un control adecuado de los materiales radiactivos, incluidas las emisiones en el medio ambiente, la propagación de la contaminación o un fallo en los sistemas de control de dosis;
- la repetición de un suceso, cuando haya pruebas de que el explotador no se ha ocupado debidamente de que se hayan aprendido las lecciones o de que se hayan adoptado medidas correctoras tras el primer suceso.

Es importante observar que el propósito de las presentes orientaciones no es iniciar una evaluación extensa y detallada sino estudiar si existe una opinión inmediata que puedan emitir los encargados de evaluar el suceso. A menudo es difícil determinar inmediatamente después del suceso si debe aumentarse la clasificación del mismo debido a la cultura de seguridad. En este caso, debe hacerse una clasificación provisional basada en lo que se sabe en ese momento; luego, en la clasificación definitiva, se puede tener en cuenta la información adicional relativa a la cultura de seguridad que se habrá generado a partir de una investigación detallada.

### 5.3. EJEMPLOS PRÁCTICOS

#### **Ejemplo 27. Disparo del reactor tras la caída de barras de control – Debajo de la escala / Nivel 0**

##### *Descripción del suceso*

La unidad estaba funcionando a potencia nominal. Durante el movimiento de un banco de barras de parada, realizado como prueba periódica de vigilancia de las barras de control, el reactor se disparó debido a una señal de elevada tasa negativa del flujo neutrónico en el rango de potencia. Esto provocó también un disparo automático de la turbina y el generador.

Se detuvo de inmediato la operación de las barras de control y se comprobaron las posiciones de las barras en el detector de posición de barras de control. Se descubrió que las cuatro barras de control del banco de parada sometido a prueba habían caído antes de la parada del reactor.

La señal de tasa negativa elevada se había producido para proteger contra el fallo de los instrumentos, pero no se pretendía que actuase como protección contra fallos base de diseño.

Una inspección del circuito de control del mecanismo de accionamiento de las barras de control mostró que la causa de la avería fue una placa de circuito impreso defectuosa.

Se sustituyó esta placa defectuosa por una placa de repuesto y se reanudó la operación normal tras comprobar la integridad del circuito de control.

*Explicación de la clasificación*

Criterios	Explicación
2. y 3. Consecuencias reales:	No hubo consecuencias reales del suceso.
5.1.1. Frecuencia del iniciador:	La caída accidental de barras de control no demanda la actuación de las funciones de seguridad y, por tanto, no es un iniciador. El disparo del reactor es un iniciador (categoría de frecuencia – <i>prevista</i> ).
5.1.2. Operabilidad de la función de seguridad:	La función de seguridad relativa a la ‘refrigeración del combustible’ era <i>plena</i> .
5.1.3 y 5.1.4. Clasificación básica:	Hubo un iniciador real. Según la sección 5.1.3, la celda A(1) del cuadro 9 es adecuada y la clasificación básica que da es Debajo de la escala / Nivel 0.
5.2. Factores adicionales:	No hay motivos para aumentar la clasificación.
Clasificación final:	Debajo de la escala / Nivel 0.

**Ejemplo 28. Fuga de refrigerante del reactor durante una recarga a potencia – Nivel 1**

*Descripción del suceso*

Durante una recarga rutinaria a plena potencia, apareció en la cámara de recarga una fuga de 1,4 t/h de refrigerante de un reactor de agua pesada. El personal de operación determinó que el puente de recarga oriental había sufrido una caída de 0,4 m. El reactor fue parado y enfriado. La presión del refrigerante se mantuvo transfiriendo refrigerante de otras unidades y recuperándolo del sumidero. La fuga total fue de 22 t (aproximadamente el 10% del inventario). No fue necesario el funcionamiento de ningún sistema de seguridad con la excepción del cierre de la caja de contención por actividad elevada transcurrida una hora. No hubo ninguna emisión anómala de radiactividad al medio ambiente. La causa del problema fue el fallo de un enclavamiento, que no fue comprobado en el programa de vigilancia.

### Explicación de la clasificación

Criterios	Explicación
2. y 3. Consecuencias reales:	No hubo consecuencias reales del suceso.
5.1.1. Frecuencia del iniciador:	Aunque hubo una fuga de refrigerante del reactor muy pequeña, no hubo demanda de actuación de las funciones de seguridad porque la acción del personal de operación mantuvo el inventario de agua. Por consiguiente, no hubo iniciador real.
5.1.2. Operabilidad de la función de seguridad:	Todos los sistemas de seguridad requeridos estaban plenamente disponibles si la fuga se hubiese convertido en un pequeño accidente con pérdida de refrigerante (LOCA).
5.1.3 y 5.1.4. Clasificación básica:	No hubo iniciador real. Según la sección 5.1.4, la fila A del cuadro 10 es la correcta, y da una clasificación básica de 0. Siguiendo las orientaciones dadas en la sección 5.1.5, si la fuga no se hubiese controlado, se hubiera producido un LOCA pequeño con frecuencia <i>posible</i> . Según la celda A(2) del cuadro 9, la clasificación del suceso potencial hubiese sido de nivel 1. Como la probabilidad de que los operadores no controlasen la fuga es baja, la clasificación debería reducirse al nivel 0.
5.2. Factores adicionales:	El programa de vigilancia no inspeccionó el enclavamiento. Además, esta deficiencia se conocía antes del suceso. Por estos motivos, se incrementó la clasificación del suceso al nivel 1.
Clasificación final:	Nivel 1.

### **Ejemplo 29. No disponibilidad de rociado de la contención porque se dejaron válvulas en posición cerrada – Nivel 1**

#### *Descripción del suceso*

Esta central de dos unidades tiene que parar sus dos reactores cada año para realizar las pruebas requeridas en el sistema común de refrigeración de emergencia del núcleo (ECCS) y las actividades conexas de seguridad automática.

Estas pruebas se realizan normalmente cuando uno de los reactores está en parada fría para recarga.

El 9 de octubre, las unidades 1 y 2 fueron objeto de estas pruebas. La unidad 1 permaneció en condición de parada fría para recarga, y la unidad 2 reanudó la operación a potencia el 14 de octubre. El 1 de noviembre se descubrió durante la comprobación mensual de las válvulas de salvaguardia que las cuatro válvulas en la descarga de las bombas de rociado de la contención estaban cerradas. Se llegó a la conclusión de que estas válvulas no se habían vuelto a abrir tras las pruebas del 9 de octubre, contraviniendo los requisitos del procedimiento de prueba conexo.

Por lo tanto, la unidad 2 había estado funcionando durante 18 días sin que hubiera rociado disponible.

Se concluyó que la causa del suceso había sido un error humano. No obstante, se admitió que el error había tenido lugar al final de un período de pruebas más prolongado que lo habitual (a raíz de la detección de fallos) y que una notificación más formal de las medidas adoptadas podría ser muy útil.

*Explicación de la clasificación*

Criterios	Explicación
2. y 3. Consecuencias reales:	No hubo consecuencias reales del suceso.
5.1.1. Frecuencia del iniciador:	No hubo iniciador real. El iniciador que hubiese demandado la actuación de la función de seguridad degradada hubiese sido un LOCA grande ( <i>improbable</i> ).
5.1.2. Operabilidad de la función de seguridad:	La operabilidad de la función de seguridad ‘confinamiento’ se vio degradada. La operabilidad era menos que la <i>mínima requerida por los LCO</i> pero más que simplemente <i>adecuada</i> ya que había otro sistema disponible.
5.1.3 y 5.1.4. Clasificación básica:	No hubo iniciador real. Según la sección 5.1.4, la celda C(3) del cuadro 10 es adecuada, lo cual da una clasificación básica de Nivel 1.
5.2. Factores adicionales:	El fallo fue provocado por un error humano, pero no se considera apropiado aumentar la clasificación del suceso debido a cuestiones de cultura de seguridad (la sección 5.1.4 explica que la elección del nivel 1 en vez de 0 para la clasificación básica ya tenía en cuenta el hecho de que los LCO habían sido infringidos).
Clasificación final:	Nivel 1.

### **Ejemplo 30. Fuga de agua del sistema primario a través de un disco de ruptura del depósito de descarga del presionador – Nivel 1**

#### *Descripción del suceso*

La unidad se había llevado a parada caliente. El sistema de extracción de calor residual (RHR) había sido aislado y drenado parcialmente para realizar unas pruebas del sistema tras un trabajo de modificación y, por tanto, no estaba disponible.

Se estaba llevando a cabo la prueba periódica de la eficiencia del sistema de rociado del presionador y el sistema de refrigeración del reactor estaba a una presión de 159 bar. A las 16.00 horas aproximadamente se activó la alarma de presión alta en el depósito de alivio del presionador. El nivel del depósito de control de volumen disminuyó, lo que indicaba que había una fuga de refrigerante del reactor con una tasa estimada de 1,5 m<sup>3</sup> por hora. Un trabajador entró en el edificio del reactor para tratar de descubrir dónde estaba la fuga y llegó a la conclusión de que procedía del vástago de una válvula del sistema de refrigeración del reactor (de una válvula manual ubicada en la línea de *bypass* del sensor de temperatura). El trabajador comprobó la estanqueidad de la válvula colocándola en su posición de asiento trasera por medio del volante (de hecho, la válvula seguía sin estar correctamente asentada).

La fuga continuó y a las 18.00 horas se llamó a personal de mantenimiento, pero tampoco fueron capaces de encontrar el origen de la fuga.

Durante este tiempo, la presión y la temperatura dentro del depósito de alivio del presionador siguieron subiendo. Las temperaturas se mantuvieron debajo de 50°C mediante operaciones de alimentación y sangrado (es decir, inyecciones de agua de aporte fría y drenaje al depósito de recuperación de drenajes de refrigerante del reactor). Dos bombas instaladas en paralelo dirigen este efluente fuera del edificio del reactor hacia el depósito del sistema de reciclado de boro.

Hacia las 09.00 horas, los sensores de actividad indicaron un aumento de la radiactividad en el edificio del reactor. A las 09.56 horas, se alcanzó el punto de tarado para el aislamiento parcial de la contención. Esto tuvo como resultado más notable el cierre de válvulas dentro de la contención en el sistema de venteo y drenaje de la isla nuclear. Llegados a este punto, el efluente ya no podía ser dirigido al sistema de reciclado de boro.

La presión dentro del depósito de alivio de la presión siguió subiendo hasta que, a las 21.22 horas, los discos de ruptura reventaron. Para mantener la temperatura en el depósito de alivio del presionador en torno a 50°C, hubo que seguir aportando agua hasta las 23.36 horas. A las 01.45 horas, los niveles de

actividad dentro del edificio del reactor cayeron por debajo del punto de tarado para el aislamiento de la contención.

A las 02.32 horas, el sistema de refrigeración del reactor se encontraba a una presión de 25 bar. La unidad se había llevado a condiciones subcríticas de parada caliente y el calor se extraía mediante los generadores de vapor, pero el sistema RHR seguía sin estar disponible.

El sistema RHR volvió a restablecerse a las 10.45 horas, y a las 11.45 horas, la válvula causante de la fuga del sistema de refrigeración del reactor fue desconectada de su control remoto a fin de poder volver a asentarla, deteniéndose así la fuga.

*Explicación de la clasificación*

Criterios	Explicación
2. y 3. Consecuencias reales:	No hubo consecuencias reales del suceso.
5.1.1. Frecuencia del iniciador:	No hubo iniciador real ya que no se demandó la actuación de los sistemas de seguridad de refrigeración de emergencia del núcleo. La fuga inicial fue controlada por los sistemas de aporte normales (véase la sección 5.1.1).
5.1.2. Operabilidad de la función de seguridad:	Todos los sistemas de seguridad requeridos estaban plenamente disponibles si la fuga se hubiese convertido en un LOCA pequeño.
5.1.3 y 5.1.4. Clasificación básica:	No hubo iniciador real. Según la sección 5.1.4, la fila A del cuadro 10 es la adecuada, lo cual da una clasificación básica de Debajo de la escala / Nivel 0. Siguiendo las orientaciones dadas en la sección 5.1.5, si la fuga hubiese empeorado y el personal de operación no hubiese hecho nada, se hubiera producido un LOCA pequeño, con frecuencia <i>posible</i> . Según la celda A(2) del cuadro 9, la clasificación del suceso potencial hubiese sido de nivel 1. Como la probabilidad del suceso potencial es baja, la clasificación debe reducirse al nivel 0.
5.2. Factores adicionales:	El iniciador espurio del aislamiento de la contención provocó dificultades operativas y proporcionó información engañosa. Por estas razones, la clasificación del suceso se incrementó al nivel 1 (véase la sección 5.2.1).
Clasificación final:	Nivel 1.

**Ejemplo 31. Caída de un conjunto combustible durante la recarga – Nivel 1**

*Descripción del suceso*

Tras alzar un nuevo conjunto combustible fuera de su celda durante una recarga, el brazo telescópico de la máquina de recarga se separó espontáneamente y un conjunto combustible nuevo cayó sobre el tubo central del contenedor de la máquina de recarga. Los enclavamientos funcionaron de la forma prevista y no se produjeron daños al combustible ni una despresurización.

*Explicación de la clasificación*

Criterios	Explicación
2. y 3. Consecuencias reales:	No hubo consecuencias reales del suceso.
5.1.1. Frecuencia del iniciador:	Aunque en el suceso solo se vio implicado combustible no irradiado, podía haber sucedido lo mismo con combustible irradiado. La caída de un solo conjunto combustible está identificado como un iniciador <i>posible</i> .
5.1.2. Operabilidad de la función de seguridad:	Los sistemas de seguridad previstos estaban plenamente disponibles.
5.1.3 y 5.1.4. Clasificación básica:	Hubo un iniciador real. Según la sección 5.1.3, la celda A(2) del cuadro 9 es adecuada, lo que da una clasificación básica de nivel 1. La aplicación de las orientaciones de la sección 6.3.8 daría la misma clasificación.
5.2. Factores adicionales:	No hay motivos para aumentar la clasificación.
Clasificación final:	Nivel 1.

**Ejemplo 32. Calibración incorrecta de los detectores de sobrepotencia regional – Nivel 1**

*Descripción del suceso*

Durante una calibración rutinaria de los detectores de sobrepotencia regional para los sistemas de parada 1 y 2, se aplicó un factor de calibración incorrecto. El factor de calibración empleado fue para un 96% de potencia, si bien el reactor estaba al 100% de potencia. Este error de calibración fue descubierto aproximadamente seis horas después, momento en el que se calibraron de nuevo

todos los detectores con el valor correcto para la operación a plena potencia. La eficacia de disparo de este parámetro para ambos sistemas de parada se vio, por tanto, reducida durante aproximadamente seis horas. Durante ese tiempo, estuvo disponible un parámetro de disparo alternativo con redundancia.

*Explicación de la clasificación*

Criterios	Explicación
2. y 3. Consecuencias reales:	No hubo consecuencias reales del suceso.
5.1.1. Frecuencia del iniciador:	No hubo iniciador real. El sistema de protección del reactor se requiere para iniciadores <i>previstos</i> .
5.1.2. Operabilidad de la función de seguridad:	La operabilidad del sistema de protección se vio reducida. La operabilidad era menor que la <i>mínima requerida por los LCO</i> , pero más que solo <i>adecuada</i> ya que había disponible un segundo parámetro de disparo con redundancia. Los detectores mal calibrados también hubiesen aportado protección para la mayoría de condiciones de fallo.
5.1.3 y 5.1.4. Clasificación básica:	No hubo iniciador real. Según la sección 5.1.4, la celda C(1) del cuadro 10 es adecuada, lo que da el nivel 1 o el 2. Se eligió el nivel 1 ya que la operabilidad era considerablemente mayor que solo <i>adecuada</i> .
5.2. Factores adicionales:	Al considerar si debe ajustarse la clasificación básica, conviene tener en cuenta que el fallo solo existió durante un corto período de tiempo. Por otra parte, hubo deficiencias en el procedimiento. Se decidió mantener la clasificación en el nivel 1.
Clasificación final:	Nivel 1.

**Ejemplo 33. Fallo de un tren de un sistema de seguridad durante unas pruebas rutinarias – Nivel 1**

*Descripción del suceso*

La unidad estaba funcionando a potencia nominal. Durante las pruebas rutinarias de un generador diesel, se produjo un fallo del sistema de control de dicho generador. El diesel se retiró del servicio durante unas seis horas para hacerle mantenimiento y luego se volvió a poner en servicio. Las especificaciones técnicas requieren que si un generador diesel se retira del

servicio, se deben probar los otros dos trenes del sistema de seguridad. En aquel momento no se realizaron estas pruebas. Posteriormente se probaron los otros dos trenes del sistema de seguridad y se vio que estaban disponibles.

*Explicación de la clasificación*

Criterios	Explicación
2. y 3. Consecuencias reales:	No hubo consecuencias reales del suceso.
5.1.1. Frecuencia del iniciador:	No hubo iniciador. Los generadores diesel son necesarios en caso de pérdida del suministro eléctrico del exterior ( <i>previsto</i> ).
5.1.2. Operabilidad de la función de seguridad:	La operabilidad no fue inferior a la <i>mínima permitida por los LCO</i> , ya que quedaban dos trenes disponibles. Las pruebas adicionales que se llevaron a cabo finalmente mostraron que, en efecto, estaban disponibles dos trenes.
5.1.3 y 5.1.4. Clasificación básica:	No hubo iniciador real. Según la sección 5.1.4, la celda B(1) del cuadro 10 es adecuada, lo que da una clasificación básica Debajo de la escala / Nivel 0.
5.2. Factores adicionales:	Los trabajadores infringieron las especificaciones técnicas sin justificación, así que la clasificación del suceso se incrementó al nivel 1.
Clasificación final:	Nivel 1.

**Ejemplo 34. El diseño de una planta en relación con las inundaciones puede que no permita mitigar las consecuencias de fallos en el sistema de tuberías – Nivel 1**

*Descripción del suceso*

En una inspección reglamentaria se descubrió que las consecuencias de una inundación interna no se habían tratado adecuadamente.

Aunque existía documentación que analizaba sucesos específicos relacionados con inundaciones debidas a fallos postulados de equipos de la planta, no se había llevado a cabo un análisis completo relativo a inundaciones internas de la planta durante el diseño original de la planta ni posteriormente.

En respuesta al diseño inadecuado de planta, se habían realizado algunos cambios físicos para reducir al mínimo las amenazas para el equipo y el personal de la planta al hacer frente a posibles sucesos relacionados con inundaciones. Sin

embargo, no estaba claro que el diseño de la planta ofreciera una protección adecuada contra las consecuencias de fallos en sistemas de tuberías no relacionados con la seguridad en el edificio de turbinas. Un alto nivel de agua en el edificio de turbinas tendría como resultado la entrada de agua en ciertas salas de equipos de dispositivos de seguridad (ESF), ya que solo están separadas del edificio de turbinas por puertas no estancas y comparten un sistema de drenaje de suelos. Las salas de equipos ESF contienen el sistema de alimentación auxiliar de agua (AFW), los generadores diesel de emergencia y los aparellajes eléctricos de ESF de 480 V y 4160 V.

A raíz de la inspección, se recopiló la base de diseño y de licencia relativa a inundaciones internas y se completó la cualificación sísmica de tuberías y componentes seleccionados. Se realizaron modificaciones del diseño para proteger sistemas y componentes de la clase 1 de la planta tal como se definen en el informe de análisis de la seguridad actualizado. Esto incluyó la instalación de barreras contra inundaciones en las puertas de las salas que contienen equipos de ESF, la instalación de válvulas de retención en líneas de drenaje de suelos seleccionadas y la instalación de circuitos para activar las bombas de agua de circulación cuando se registre un alto nivel de agua en el sótano del edificio de turbinas.

### *Explicación de la clasificación*

En general, las deficiencias de diseño identificadas durante las revisiones periódicas de la seguridad o en el marco de programas de prolongación de la vida útil no se consideran sucesos individuales que haya que clasificar con la escala INES. Sin embargo, los errores de análisis descubiertos durante la realización de otras actividades pueden ser notificados como sucesos. Este manual no pretende definir qué sucesos deben notificarse al público, sino dar una serie de orientaciones sobre cómo clasificar los sucesos que se comunican al público. Este suceso se incluye para mostrar cómo pueden clasificarse tales sucesos.

Criterios	Explicación
2. y 3. Consecuencias reales:	No hubo consecuencias reales del suceso.
5.1.1. Frecuencia del iniciador:	No hubo iniciador. Los sistemas de seguridad se requieren contra el iniciador de una rotura importante de las tuberías del sistema de conversión de potencia (un iniciador <i>improbable</i> ).
5.1.2. Operabilidad de la función de seguridad:	La función de seguridad de refrigeración tras un disparo era <i>inadecuada</i> .
5.1.3 y 5.1.4. Clasificación básica:	No hubo iniciador real. Según la sección 5.1.4, la celda D(3) del cuadro 10 es adecuada, lo que da una clasificación básica de Nivel 1.
5.2. Factores adicionales:	No hay motivos para incrementar la clasificación.
Clasificación final:	Nivel 1.

### **Ejemplo 35. Dos generadores diesel de emergencia no se pusieron en marcha tras la desconexión del suministro eléctrico de la red principal – Nivel 2**

#### *Descripción del suceso*

Una avería eléctrica en la subestación de 400 kV provocada por errores durante un procedimiento de prueba tuvo como consecuencia la desconexión de la unidad de la red eléctrica. La excitación de los generadores provocó un aumento del nivel de tensión de las barras colectoras de los generadores hasta el 120% aproximadamente. Esta sobretensión hizo que se disparasen dos de cuatro convertidores cc/ca de la fuente ininterrumpible de suministro eléctrico (UPS). Aproximadamente 30 segundos más tarde en la secuencia, cuando se perdió el modo de operación en isla en ambos turbogeneradores, el disparo de los convertidores cc/ca de la UPS impidió la conexión de dos de cuatro generadores diesel de emergencia a las barras colectoras de 500 V. Aproximadamente 20 minutos después del suceso inicial, las barras colectoras de 500 V de los diesel de los trenes afectados se conectaron manualmente al sistema de 6 kV, alimentadas por el suministro eléctrico auxiliar exterior, de modo que todos los sistemas eléctricos fueron operacionales. El disparo del reactor tuvo éxito, y todas las barras de control se insertaron como estaba previsto. Dos válvulas del sistema de alivio de presión se abrieron debido a la activación injustificada de los trenes de seguridad. El sistema de refrigeración de emergencia del núcleo en dos de los cuatro trenes fue, no obstante, más que suficiente para mantener el nivel del

reactor por encima del núcleo, ya que no hubo ningún LOCA más. El personal de sala de control tuvo dificultades para supervisar debidamente la planta durante el suceso ya que se perdieron muchas indicaciones y lecturas por la pérdida de suministro eléctrico en los dos trenes que abastecían buena parte de la instrumentación de la sala de control. Investigaciones posteriores revelaron que la sobretensión de las barras colectoras de los generadores podría haber impedido fácilmente que funcionasen los cuatro sistemas de UPS.

*Explicación de la clasificación*

Criterios	Explicación
2. y 3. Consecuencias reales:	No hubo consecuencias reales del suceso.
5.1.1. Frecuencia del iniciador:	Se produjo un disparo del reactor, que es un iniciador frecuente. También hubo una pérdida parcial del suministro eléctrico exterior, lo que hizo necesario el funcionamiento inicial de los diesel seguido de la conexión manual a las alimentaciones auxiliares.
5.1.2. Operabilidad de la función de seguridad:	Todos los sistemas de refrigeración estaban disponibles, pero las alimentaciones para la conmutación no estaban disponibles en dos trenes. La no disponibilidad de dos de cuatro trenes se permitió durante un período de tiempo limitado, por lo que estuvo dentro de los LCO.
5.1.3 y 5.1.4. Clasificación básica:	Hubo un iniciador real. Según la sección 5.1.3, la celda B(1) del cuadro 9 es adecuada, lo que da una clasificación básica de nivel 1 o 2. Como en realidad todos los sistemas de refrigeración estuvieron disponibles, sujetos a conmutación manual, se eligió la clasificación más baja.
5.2. Factores adicionales:	Evidentemente, se trató de una cuestión de fallo de modo común ya que los cuatro sistemas de UPS sufrieron los mismos problemas de sobretensión. Por este motivo, la clasificación básica se incrementó en un nivel.
Clasificación final:	Nivel 2.

El suceso también reveló que los sistemas de seguridad eran vulnerables a una pérdida del suministro eléctrico exterior con una sobretensión asociada. Por consiguiente, esto también se debe clasificar partiendo de la evaluación de esta reducción de operabilidad identificada.

## Explicación de la clasificación

Criterios	Explicación
2. y 3. Consecuencias reales:	No hubo consecuencias reales del suceso.
5.1.1. Frecuencia del iniciador:	No se produjo una pérdida total del suministro eléctrico exterior (LOOP), pero es un iniciador <i>previsto</i> .
5.1.2. Operabilidad de la función de seguridad:	Suponiendo que la LOOP hubiese dado lugar a un transitorio de sobretensión (que era probable), los diesel se hubieran puesto en marcha, pero no hubiera habido alimentación para conectarlos. El personal de operación hubiera dispuesto de unos 40 minutos para encontrar una manera de conectar los diesel manualmente. De acuerdo con esto, la operabilidad de la función de seguridad era solo <i>adecuada</i> .
5.1.3 y 5.1.4. Clasificación básica:	No hubo iniciador real. Según la sección 5.1.4, la celda C(1) del cuadro 10 es adecuada, lo que da una clasificación básica de nivel 1 o 2. Dado que todos los sistemas de refrigeración estaban disponibles, sujetos a poder conectarse a las alimentaciones de los diesel, se eligió la clasificación más baja.
5.2. Factores adicionales:	Este análisis ya presupone el fallo de todos los sistemas de UPS, de modo que un incremento adicional de la clasificación no se justifica.
Clasificación final:	Nivel 2, sobre la base del primer análisis con un iniciador real.

### Ejemplo 36. Pérdida entre 15 y 20 minutos de circulación forzada de gas – Nivel 2

#### Descripción del suceso

Un fallo monofásico en los suministros de energía eléctrica de instrumentos al reactor 1 no se despejó automáticamente y permaneció hasta que las alimentaciones se conmutaron manualmente. El fallo provocó que en una caldera se cerraran las válvulas de disparo de la alimentación de alta presión y de baja presión, lo que dio lugar a la parada progresiva del correspondiente circulador de gas accionado por vapor. Se perdió gran parte de la instrumentación y del control automático de las calderas y del reactor 1. La inserción manual de barras era posible, y se intentó, pero la velocidad no fue suficiente para evitar el aumento de la temperatura, lo que hizo que el reactor 1 se

disparara automáticamente por alta temperatura de los elementos combustibles (un aumento de 16°C aproximadamente). La impresión del personal de operación fue que todos los sistemas de control de barras habían quedado inoperables.

La instrumentación esencial alimentada por baterías y el sistema de protección del reactor siguieron estando funcionales, junto con parte de los sistemas normales de control y de instrumentación.

Todos los circuladores de gas se fueron parando a medida que el vapor que iba a sus turbinas se deterioraba. El fallo del suministro eléctrico de los instrumentos impidió que se conectasen los motores de arranque de los circuladores de gas tanto automática como manualmente. Todo el tiempo se mantuvo la alimentación de baja presión a tres de las cuatro calderas y se restableció a la cuarta mediante una acción manual. Tras el transitorio inicial que dio lugar al disparo del reactor, las temperaturas de los elementos combustibles cayeron pero luego subieron a medida que fallaba la circulación forzada de gas. Estas temperaturas se estabilizaron en torno a 50°C por debajo de los niveles de operación normales antes de volver a caer cuando los motores de arranque de los circuladores de gas arrancaron al conectarse las alimentaciones de reserva de los instrumentos. El reactor 2 no se vio afectado y funcionó a pleno rendimiento durante todo el tiempo. El reactor 1 se volvió a poner en servicio al día siguiente.

*Explicación de la clasificación*

Criterios	Explicación
2. y 3. Consecuencias reales:	No hubo consecuencias reales del suceso.
5.1.1. Frecuencia del iniciador:	Es necesario considerar este suceso en dos partes. El primer iniciador fue el transitorio provocado por una pérdida de alimentación a una caldera, junto con la pérdida de las indicaciones. Esto demandó la actuación del sistema de protección, que todavía estaba plenamente disponible. Por lo tanto, esta parte del suceso se clasificaría con Debajo de la escala / Nivel 0. Cabe observar que, aunque lo primero que ocurrió durante el suceso fue un fallo en las alimentaciones de los instrumentos, éste no fue el iniciador. El fallo de los instrumentos hizo que se perdiera la alimentación a una caldera, pero no activó directamente ningún sistema de seguridad. Por consiguiente, no ha de considerarse un iniciador. El transitorio que vino después demandó la actuación del sistema de protección y es por tanto un iniciador. El segundo iniciador fue el disparo del reactor y la parada progresiva de los circuladores de gas accionados por vapor. Esto activó la función de seguridad relativa a la ‘refrigeración del combustible’.

-----

5.1.2. Operabilidad de la función de seguridad:	La operabilidad de esta función de seguridad fue inferior a la <i>mínima requerida por los LCO</i> , ya que no se pudo poner en marcha ninguno de los motores auxiliares de arranque, pero más que <i>adecuada</i> , ya que la circulación natural proporcionó una refrigeración efectiva y la circulación forzada se restableció antes de que las temperaturas pudiesen subir hasta niveles inadmisibles.
5.1.3 y 5.1.4. Clasificación básica:	Hubo un iniciador real. Según la sección 5.1.3, la celda C(1) del cuadro 9 es adecuada, lo que da una clasificación básica de nivel 2 o 3. Tal como se explicó en esa sección, el nivel elegido depende del grado en que la operabilidad sea más que solo <i>adecuada</i> . En este suceso, el nivel 2 es apropiado debido a la disponibilidad de circulación natural y al tiempo limitado durante el cual no se dispuso de circulación forzada.
5.2. Factores adicionales:	En cuanto a un posible incremento de la clasificación, hay dos cuestiones que se deben considerar, ambas señaladas en la sección 5.2.1. El fallo supuso un fallo de modo común de todos los circuladores. Sin embargo, este hecho ya se ha tenido en cuenta en la clasificación básica, y aumentar la clasificación del suceso supondría contabilizar aquél dos veces (véase la introducción al punto 2) de la sección 5.2). El otro factor pertinente son las dificultades ocasionadas por la falta de indicaciones. Sin embargo, las indicaciones eran más importantes para controlar el transitorio inicial y su ausencia no hubiera causado un empeoramiento de la situación de refrigeración tras el disparo. Además, según el punto 3) de la introducción a la sección 5.2, el nivel 3 no sería apropiado ya que una sola avería de componente más no habría dado lugar a un accidente.
Clasificación final:	Nivel 2.

## Ejemplo 37. Pequeña fuga en el circuito primario – Nivel 2

### *Descripción del suceso*

En la parte no aislable de una línea de inyección de seguridad se descubrió una fuga muy pequeña (detectada únicamente mediante una medición de la humedad) debido a defectos no previstos en el programa de vigilancia (el programa de vigilancia no requería la inspección de la zona). En las otras líneas de inyección de seguridad había defectos similares pero más pequeños.

### Explicación de la clasificación

Criterios	Explicación
2. y 3. Consecuencias reales:	No hubo consecuencias reales del suceso.
5.1.1. Frecuencia del iniciador:	Según la sección 5.1.5, si el defecto hubiese dado lugar a un fallo del componente, se hubiera producido un accidente con pérdida de refrigerante (LOCA) de grande dimensiones (iniciador <i>improbable</i> ).
5.1.2. Operabilidad de la función de seguridad:	La operabilidad de la función de seguridad para este iniciador postulado era <i>plena</i> .
5.1.3 y 5.1.4. Clasificación básica:	La aplicación de la metodología para defectos estructurales lleva a emplear la sección 5.1.3. La celda A(3) del cuadro 9 da un valor superior para la clasificación básica de 2. Como solo se produjo una fuga (ninguna rotura real en las tuberías), la clasificación debe reducirse en un nivel.
5.2. Factores adicionales:	Dado que los defectos podían haber conducido a un fallo de modo común de todas las líneas de inyección de seguridad, la clasificación se incrementó al nivel 2.
Clasificación final:	Nivel 2.

### Ejemplo 38. Bloqueo parcial de la toma de agua con tiempo frío – Nivel 3

#### Descripción del suceso

Este suceso afectó a ambas unidades de la central, pero para simplificar la explicación, solo se contempla aquí el impacto en la unidad 2.

La otra unidad o cuatro grupos turbogeneradores auxiliares podían proporcionar suministros eléctricos en el emplazamiento.

El origen del suceso fue el tiempo frío que hacía en la zona en ese momento. La toma de agua quedó bloqueada por témpanos de hielo, mientras que las bajas temperaturas contribuyeron al disparo de la unidad convencional, seguido de una reducción de tensión en la red de transporte.

Entró hielo debajo del desnatador y llegó a las rejillas de retención de cuerpos extraños en la estación de bombeo de la unidad 1. La formación adicional de hielo probablemente convirtió los témpanos en un bloque sólido, lo que obstruyó parcialmente las rejillas de retención compartidas por las dos rejillas de tambor de la estación de bombeo de la unidad 1. Esto habría dado lugar a una reducción

significativa de la toma de agua no tratada en la estación de bombeo. No hubo ninguna señal de alarma clara que indicase la caída de nivel.

Como consecuencia de la caída de nivel, una pérdida de vacío en los condensadores dio lugar al disparo automático de los cuatro grupos turbogeneradores auxiliares en el emplazamiento (entre las 09.30 y las 09.34 horas); las cuatro barras colectoras correspondientes fueron reabastecidas desde la red en menos de un segundo.

Los grupos turbogeneradores principales de la unidad 1 se apagaron a las 09.28 y las 09.34 horas, y se procedió a la parada del reactor.

La unidad 2 permaneció en funcionamiento, aunque entre las 09.33 y las 10.35 horas no estuvo disponible ningún grupo turbogenerador auxiliar en el emplazamiento (situación no prevista o permitida en las especificaciones técnicas) y los únicos suministros de energía eléctrica consistieron en la red de transporte y los dos grupos turbogeneradores principales de la unidad. A partir de las 10.55 horas, cuando se reconectó un segundo turbogenerador auxiliar a su panel de distribución, dos turbosoplantes fueron alimentados por los turbogeneradores auxiliares en funcionamiento y los otros dos turbosoplantes desde una de las dos líneas de 400 kV.

A las 11.43 horas, tras una reducción de tensión en la red de transporte, los dos grupos turbogeneradores principales de la unidad 2 se dispararon casi simultáneamente (operación en isla infructuosa), provocando una caída de barras y el disparo del reactor, así como una pérdida del suministro eléctrico exterior (disparo de los interruptores de línea).

Hasta este momento solo se habían vuelto a poner en servicio dos de los cuatro turbogeneradores auxiliares. Por consiguiente, solo dos de los cuatro turbosoplantes permanecieron en funcionamiento para proporcionar refrigeración al núcleo. Las líneas de suministro eléctrico que conectan la unidad 2 a la red se restablecieron tras 10 y 26 minutos, de modo que se volvieron a poner en servicio los otros turbosoplantes.

### Explicación de la clasificación

Criterios	Explicación
2. y 3. Consecuencias reales:	No hubo consecuencias reales del suceso.
5.1.1. Frecuencia del iniciador:	Se trata de una serie de sucesos compleja, pero el suceso que se está clasificando es la operación de la unidad 2 sin ninguna de las alimentaciones eléctricas esenciales del emplazamiento (debido a la pérdida de agua de refrigeración tras la formación de hielo). No hubo iniciador, pero el iniciador que demandaría la actuación de las alimentaciones eléctricas en el emplazamiento es la pérdida de suministro eléctrico exterior ( <i>previsto</i> ).
5.1.2. Operabilidad de la función de seguridad:	La función de seguridad relativa a la ‘refrigeración del combustible’ se vio degradada. La operabilidad de la función de seguridad era <i>inadecuada</i> , ya que no había alimentaciones eléctricas en el emplazamiento.
5.1.3 y 5.1.4. Clasificación básica:	No hubo iniciador real. Según la sección 5.1.4, la celda D(1) del cuadro 10 es adecuada, lo que da una clasificación básica de nivel 3.
5.2. Factores adicionales:	Aunque el tiempo de no disponibilidad fue corto (1 h), la probabilidad de una pérdida del suministro eléctrico exterior era alta. De hecho, se perdió poco después. No es apropiado, por tanto, rebajar la clasificación del suceso.
Clasificación final:	Nivel 3.

### Ejemplo 39. Disparo de la unidad debido a perturbaciones en la red por un tornado – Nivel 3

#### Descripción del suceso

Como consecuencia de un tornado, resultaron dañadas líneas de transporte. La protección de emergencia de los sistemas disparó la unidad debido a intensas oscilaciones de frecuencia en el sistema.

El suministro eléctrico auxiliar de la unidad fue aportado por el transformador en servicio. La presión del colector de vapor principal se mantuvo y se extrajo el calor residual. La refrigeración del núcleo se mantuvo por circulación natural.

Cuando cayó la tensión, se activó la señal de puesta en marcha de los diesel, pero los generadores diesel (GD) no se pudieron conectar a las barras colectoras esenciales. Puesto que la señal para la puesta en marcha de los GD continuó, se siguió intentando periódicamente ponerlos en funcionamiento de nuevo. Intentos posteriores por suministrar energía a las barras colectoras auxiliares desde los GD fueron infructuosos debido a la ausencia de aire en las bombonas de arranque.

Cuatro horas después del disparo se produjo una pérdida total de suministro eléctrico por un período de 30 minutos. El estado de núcleo se estuvo monitorizando durante todo el transitorio con la ayuda de la instrumentación incluida en el diseño.

*Explicación de la clasificación*

Criterios	Explicación
2. y 3. Consecuencias reales:	No hubo consecuencias reales del suceso.
5.1.1. Frecuencia del iniciador:	Se produjo un iniciador real, la pérdida del suministro eléctrico exterior. La frecuencia de este iniciador es <i>prevista</i> . El iniciador fue provocado por un tornado, pero la sección 5.1.3 dice que el peligro propiamente dicho no debe usarse como iniciador.
5.1.2. Operabilidad de la función de seguridad:	Aunque no había generadores diesel disponibles, la disponibilidad de la función de seguridad fue solo <i>adecuada</i> debido al tiempo limitado de pérdida del suministro eléctrico exterior.
5.1.3 y 5.1.4. Clasificación básica:	Hubo un iniciador real. Según la sección 5.1.3, la celda C(1) del cuadro 9 es adecuada, lo que da una clasificación básica de nivel 2 o 3. Como la función de seguridad fue tan solo <i>adecuada</i> , se seleccionó el nivel 3.
5.2. Factores adicionales:	No hay motivos para incrementar la clasificación.
Clasificación final:	Nivel 3.

**Ejemplo 40. Apagón total de la central debido a un incendio en el edificio de turbinas – Nivel 3**

*Descripción del suceso*

Se produjo un incendio en el edificio de turbinas. Se disparó manualmente el PHWR y se inició un enfriamiento del reactor.

Debido al incendio, muchos cables y otros equipos eléctricos resultaron dañados, lo que dio lugar a un apagón total de la central. La extracción de calor de decaimiento del núcleo se realizó por circulación natural. Se suministró agua al lado secundario de los generadores de vapor utilizando las bombas diesel contra incendios. Se añadió agua pesada borada al moderador para mantener el reactor en estado subcrítico en todo momento.

*Explicación de la clasificación*

Criterios	Explicación
2. y 3. Consecuencias reales:	No hubo consecuencias reales del suceso.
5.1.1. Frecuencia del iniciador:	La pérdida del suministro eléctrico exterior (clase IV, III, II o I) es un iniciador <i>posible</i> para PHWR y eso fue, de hecho, lo que ocurrió (es decir, fue real). Al igual que en el ejemplo anterior, el peligro propiamente dicho no debe considerarse el iniciador.
5.1.2. Operabilidad de la función de seguridad:	La función de seguridad relativa a la “refrigeración” fue solo <i>adecuada</i> porque el lado secundario fue abastecido utilizando una bomba diesel contra incendios, lo cual no es un sistema de seguridad normal.
5.1.3 y 5.1.4. Clasificación básica:	Hubo un iniciador real. Según la sección 5.1.3, la celda C(2) del cuadro 9 es adecuada, lo que da una clasificación básica de nivel 2 o 3.
5.2. Factores adicionales:	Se seleccionó el nivel 3 porque no había sistemas de seguridad disponibles y se perdieron muchas indicaciones. Una serie de otros fallos potenciales individuales podría haber dado lugar a un accidente.
Clasificación final:	Nivel 3.

## **6. EVALUACIÓN DEL IMPACTO EN LA DEFENSA EN PROFUNDIDAD EN RELACIÓN CON SUCESOS EN DETERMINADAS INSTALACIONES**

Esta sección se ocupa de los sucesos que no tienen “consecuencias reales”, pero en los que fallaron algunos de los elementos de seguridad. La inclusión deliberada de múltiples elementos o barreras se denomina “defensa en profundidad”.

Las orientaciones que se dan en esta sección se aplican a todos los sucesos en instalaciones del ciclo del combustible, reactores de investigación y aceleradores (por ejemplo, aceleradores lineales y ciclotrones) y a los sucesos relacionados con fallos de los elementos de seguridad en instalaciones que se ocupan de la fabricación y distribución de radionucleidos o que empleen fuentes de la categoría 1. También abarca muchos sucesos en emplazamientos de reactores. Mientras que en la sección 5 se daban orientaciones para sucesos que se producen en reactores de potencia durante la operación, en esta sección se facilitan orientaciones sobre una amplia gama de otros sucesos en emplazamientos de reactores, entre ellos los relacionados con reactores en régimen de parada o reactores que se están clausurando, independientemente de que el combustible siga o no en el emplazamiento, y otros sucesos en emplazamientos de reactores, como los relacionados con las instalaciones de almacenamiento de desechos o de mantenimiento. Se basa en lo que se conoce como el “enfoque de barreras de seguridad”.

Todas las instalaciones que tratan con materiales radiactivos cuentan con elementos de defensa en profundidad tales como enclavamientos, sistemas de refrigeración o barreras físicas. Esos elementos abarcan la protección del público y de la fuerza laboral e incluyen medios para evitar la transferencia de material a lugares con blindajes deficientes, así como para evitar la emisión de material radiactivo. El concepto de defensa en profundidad no se explica aquí con detalle, ya que la mayoría de las personas que apliquen lo contenido en este manual a sucesos en instalaciones estarán familiarizadas con el concepto. Sin embargo, el anexo I proporciona material de referencia adicional.

La presente se divide en cuatro partes principales. La primera da los principios generales que se deben emplear para clasificar sucesos en función de la defensa en profundidad. Dado que han de abarcar un amplio espectro de tipos de instalaciones y sucesos, son de carácter general. A fin de garantizar que se aplican de manera sistemática, en la sección 6.2 se dan orientaciones más detalladas, incluidas las relacionadas con el incremento del nivel de clasificación de los sucesos. La sección 6.3 ofrece algunas pautas específicas para ciertos tipos de sucesos, y en la sección 6.4 se presenta una serie de ejemplos prácticos.

## 6.1. PRINCIPIOS GENERALES PARA LA CLASIFICACIÓN DE SUCESOS

Aunque la escala INES asigna tres niveles para el impacto en la defensa en profundidad, las consecuencias potenciales máximas para algunas instalaciones o prácticas, aunque fallen todos los elementos de seguridad, están limitadas por el inventario de material radiactivo y el mecanismo de emisión. Cuando se trate de esas prácticas, no conviene clasificar los sucesos relacionados con los elementos de la defensa en profundidad al nivel más alto de la defensa en profundidad. Si las consecuencias potenciales máximas de una práctica concreta no pueden clasificarse por encima del nivel 4 en la escala, en función de la defensa en profundidad será apropiada una clasificación máxima de nivel 2. De igual modo, si las consecuencias potenciales máximas no pueden clasificarse por encima del nivel 2, entonces la clasificación máxima en función de la defensa en profundidad será el nivel 1. Una instalación puede abarcar una serie de prácticas, y cada práctica debe estudiarse por separado en este contexto. Por ejemplo, el almacenamiento y el reprocesamiento de desechos deben considerarse prácticas independientes, aunque ambas puedan llevarse a cabo en una misma instalación.

Una vez determinado el límite superior de la clasificación en función de la defensa en profundidad, es necesario estudiar qué elementos de seguridad siguen funcionando (es decir, qué fallos adicionales de los elementos de seguridad se requerirían para que se diesen las consecuencias potenciales máximas de esa práctica). Esto supone tener en cuenta el equipo y los sistemas administrativos para la prevención, el control y la mitigación, incluidas las barreras activas y pasivas. El enfoque de la clasificación se basa en la evaluación de la probabilidad de que el suceso pudiera haber dado lugar a un accidente, no mediante el uso directo de técnicas probabilistas sino considerando qué otros fallos de los elementos de seguridad se precisarían para que acabara produciéndose un accidente.

Por lo tanto, una “clasificación básica” se determina teniendo en cuenta las consecuencias potenciales máximas y el número y eficacia de los elementos de seguridad disponibles.

A fin de tener en cuenta cualquier “factor adicional” subyacente, también se contempla la posibilidad de aumentar la “clasificación básica”. Este aumento tiene en cuenta los aspectos del suceso que pueden indicar una degradación más profunda de la planta o de la estructura organizativa de la instalación. Los factores considerados son los fallos de causa común, las deficiencias de procedimiento y cuestiones relativas a la cultura de seguridad. Estos factores no están incluidos en la clasificación básica y pueden indicar que la importancia del suceso con respecto a la defensa en profundidad es mayor que la considerada en el proceso de clasificación básica. Por consiguiente, se contempla la posibilidad de aumentar la clasificación en un nivel a fin de comunicar la verdadera importancia del suceso al público.

Para clasificar un suceso, por tanto, deben seguirse los siguientes pasos:

- 1) Debe establecerse el límite superior de la clasificación en función de la defensa en profundidad teniendo en cuenta las consecuencias radiológicas potenciales máximas (es decir, la clasificación potencial máxima para las prácticas correspondientes en esa instalación sobre la base de los criterios de las secciones 2 y 3). En la sección 6.2.1 se dan más orientaciones sobre cómo establecer las consecuencias potenciales máximas.
- 2) A continuación, debe determinarse la clasificación básica teniendo en cuenta el número y la eficacia de los elementos de seguridad disponibles (físicos y administrativos). Al identificar el número y la eficacia de esos elementos, es importante tener en cuenta el tiempo disponible y el requerido para determinar y aplicar las medidas correctoras apropiadas. En la sección 6.2.2 se dan más pautas sobre la evaluación de los elementos de seguridad.
- 3) La clasificación final se debe determinar considerando si ha de incrementarse la clasificación básica debido a factores adicionales, tal como se explica en la sección 6.2.4. Sin embargo, la clasificación definitiva debe ser inferior al límite superior de la clasificación en función de la defensa en profundidad establecida en el punto 1).

Evidentemente, además de considerar el suceso en función de la defensa en profundidad, cada suceso también debe contemplarse en función de los criterios que aparecen en las secciones 2 y 3.

## 6.2. ORIENTACIONES DETALLADAS PARA LA CLASIFICACIÓN DE SUCESOS

### 6.2.1. Identificación de las consecuencias potenciales máximas

Tal como se ha expuesto anteriormente, el inventario de material radiactivo y las escalas temporales de los sucesos en las instalaciones que abarca la escala INES varían mucho. El proceso de clasificación establece tres categorías de consecuencias potenciales máximas: los niveles 5 a 7, los niveles 3 y 4 y los niveles 1 y 2.

Los siguientes principios generales deben tenerse en cuenta al evaluar el nivel INES para las consecuencias máximas potenciales:

- Cualquier emplazamiento puede contener una serie de instalaciones, en cada una de las cuales se puede realizar una gama de tareas. Por lo tanto, la clasificación potencial máxima debe ser particular para el tipo de

instalación en la que se produjo el suceso y el tipo de operaciones que se llevaban a cabo cuando ésta se produjo. No obstante, las consecuencias potenciales máximas no son particulares del suceso sino que guardan relación con un conjunto de operaciones en una instalación.

- Es necesario estudiar el inventario radiactivo que podría haberse visto afectado en el suceso, las propiedades físicas y químicas del material de que se trate y los mecanismos por los que esa actividad podría haberse dispersado.
- El estudio no debería centrarse en los escenarios considerados en la justificación de la seguridad de la instalación sino que debería contemplar accidentes físicamente posibles si todos los elementos de seguridad asociados con el suceso hubiesen sido deficientes.
- Cuando se consideren las consecuencias relacionadas con la exposición de los trabajadores, las consecuencias potenciales máximas deben por lo general basarse en la exposición de un solo individuo, ya que es muy improbable que varios trabajadores se vean expuestos al nivel máximo creíble.

Estos principios pueden ilustrarse mediante los siguientes ejemplos:

- 1) En el caso de sucesos relacionados con los enclavamientos de entrada a celdas para mantenimiento, es probable que las consecuencias potenciales máximas estén relacionadas con la exposición no planeada de trabajadores. Si los niveles de radiación son lo suficientemente elevados como para provocar efectos deterministas o la muerte si se entra en la celda y no se adoptan medidas mitigadoras, entonces la clasificación de las consecuencias potenciales máximas será el nivel 3 o 4 (según los criterios de dosis individual de la sección 2.3).
- 2) En el caso de sucesos en reactores de investigación pequeños (potencia de aproximadamente 1 MW o inferior), aunque existan mecanismos físicos para la dispersión de una fracción importante del inventario (a través de sucesos de criticidad o de la pérdida de refrigeración del combustible), el inventario total es tal que la clasificación de las consecuencias potenciales máximas no debería ser superior al nivel 4, incluso si fallasen todos los elementos de seguridad.
- 3) En el caso de sucesos en reactores de potencia en régimen de parada, el inventario y los mecanismos físicos que existen para la dispersión de una fracción importante de ese inventario (a través de sucesos de pérdida de refrigeración o de criticidad) son tales que la clasificación de las consecuencias potenciales máximas podría superar el nivel 4 si fallasen todos los elementos de seguridad.

- 4) En el caso de instalaciones de reprocesamiento y otras instalaciones que procesan compuestos de plutonio, el inventario y los mecanismos físicos que existen para la dispersión de una fracción importante de ese inventario (a través de sucesos de criticidad, explosiones químicas o incendios) son tales que la clasificación de las consecuencias potenciales máximas podría superar el nivel 4 si fallasen todos los elementos de seguridad.
- 5) En el caso de instalaciones de fabricación de combustible de uranio y de enriquecimiento de uranio, las emisiones pueden tener aspectos de seguridad química y radiológica. Hay que destacar que el riesgo químico que supone la toxicidad del flúor y el uranio prevalece sobre el riesgo radiológico. La escala INES, sin embargo, solo está relacionada con la evaluación del peligro radiológico. Por consiguiente, no son concebibles consecuencias graves que superen una clasificación de nivel 4 a partir de una emisión de uranio o de sus compuestos.
- 6) En el caso de los aceleradores, es probable que las consecuencias potenciales máximas estén asociadas a una exposición individual no planeada. Si los niveles de radiación son lo suficientemente elevados como para provocar efectos deterministas o la muerte si se entra en zonas restringidas, entonces la clasificación de las consecuencias potenciales máximas será el nivel 3 o 4 (según los criterios de dosis individual de la sección 2.3).
- 7) En el caso de los irradiadores, la mayoría de sucesos estarán relacionados con dosis de radiación no planeadas. Si los niveles de radiación potenciales, en caso del fallo de todas las medidas protectoras, son lo suficientemente elevados como para provocar efectos deterministas o la muerte, entonces la clasificación de las consecuencias potenciales máximas será el nivel 3 o 4 (según los criterios de dosis individual de la sección 2.3). Si se trata de sucesos en instalaciones con fuentes de categoría 1 que tienen sistemas de seguridad cuya finalidad es evitar la dispersión del material radiactivo (por ejemplo, sistemas de protección contra incendios), la emisión potencial puede ser lo suficientemente grande como para que las consecuencias potenciales máximas sean consideradas de nivel 5.

## **6.2.2. Determinación del número de barreras de seguridad**

### *6.2.2.1. Determinación de las barreras de seguridad*

Existe una amplia gama de elementos de seguridad que se emplean en las distintas instalaciones contempladas en esta sección. Algunos pueden ser barreras físicas permanentes, otros pueden basarse en enclavamientos, otros aún pueden ser sistemas tecnológicos activos tales como sistemas de refrigeración o de

inyección, y otros pueden basarse en controles o medidas de carácter administrativo a cargo del personal de operación en respuesta a las alarmas. La metodología para clasificar sucesos cuando existe una serie tan amplia de elementos de seguridad consiste en agrupar estos elementos en barreras de seguridad distintas e independientes. Así, si dos indicaciones distintas se envían a través de un solo enclavamiento, las indicaciones y el enclavamiento constituyen juntos una sola barrera de seguridad. Por otro lado, si dos bombas del 100% independientes proporcionan la refrigeración, deben considerarse dos barreras de seguridad distintas a no ser que tengan un sistema de apoyo común no redundante.

Al estudiar el número de barreras de seguridad, es necesario garantizar que la eficacia de un número de barreras de equipo distintas no se vea reducida por un sistema de apoyo común o por una medida común por parte del personal de operación en respuesta a alarmas o indicaciones. En tales casos, aunque pueda haber varias barreras físicas, quizá solo haya una barrera de seguridad efectiva.

Al considerar los controles administrativos como barreras de seguridad, es importante comprobar el grado en el que procedimientos diferentes pueden considerarse independientes y comprobar que el procedimiento sea suficientemente fiable como para considerarlo una barrera de seguridad. Se considera que el tiempo disponible incide de forma importante en la fiabilidad que puede afirmarse que tienen los procedimientos operacionales.

Es posible incluir procedimientos de vigilancia en las barreras de seguridad, aunque cabe observar que la vigilancia por sí misma no constituye una barrera de seguridad. También son necesarios los medios para aplicar las medidas correctoras.

Es difícil dar orientaciones más explícitas, e inevitablemente habrá que recurrir al criterio propio. En general, se supone que una barrera de seguridad tendrá una tasa de fallo cercana a  $10^{-2}$  cada vez que se requiera. Con el fin de ayudar a determinar el número de barreras de seguridad independientes, la siguiente lista da algunos ejemplos de barreras de seguridad que pueden estar disponibles según las circunstancias del suceso y el diseño y justificación de la seguridad operacional de la instalación:

- Dosímetros personales electrónicos con alarma, siempre y cuando el personal haya recibido capacitación en su uso, que el dosímetro sea fiable y que el personal pueda responder y lo haga correctamente y con suficiente celeridad;
- Detectores y alarmas de actividad suspendida en el aire y/o radiación instalados, siempre y cuando pueda demostrarse que son fiables y que el personal pueda responder y lo haga correctamente y con suficiente celeridad;

- Presencia de un técnico de protección radiológica para detectar cualquier nivel anormal de radiación o la diseminación de contaminación, y alertar a otras personas al respecto;
- Elementos para la detección de fugas, como la contención, que dirijan los materiales a un sumidero dotado de la instrumentación apropiada de medida de nivel y/o de alarmas;
- Vigilancia por parte del personal de operación para dar garantías del estado seguro de la instalación, siempre y cuando la frecuencia de vigilancia sea suficiente para identificar defectos de actuación y las medidas correctoras requeridas se lleven a cabo con fiabilidad;
- Sistemas de ventilación que hagan que la actividad suspendida en el aire circule por la instalación de manera segura y controlada;
- Puertas blindadas y sistemas de entrada con enclavamientos;
- Ventilación natural, “efecto de tiro” o ventilación / refrigeración pasiva;
- Medidas, instrucciones o rutinas que puedan haberse desarrollado para mitigar las consecuencias;
- Provisión de un sistema diverso, siempre y cuando no haya aspectos comunes en los sistemas de suministro o de control;
- Provisión de redundancias, siempre y cuando no haya un sistema de apoyo no redundante;
- Sistemas de gases inertes como medio para mitigar la acumulación de hidrógeno en algunas instalaciones de almacenamiento de desechos radiactivos.

#### 6.2.2.2. Confinamiento

En algunas situaciones, el confinamiento proporcionará por sí mismo una o varias barreras de seguridad, pero debe utilizarse con cuidado. Tal como se explicó en la sección 6.2.1, el proceso de clasificación requiere la asignación de las consecuencias potenciales máximas a una de tres categorías, a saber, los niveles 5 a 7, los niveles 3 y 4 y los niveles 1 y 2. Si tras un fallo de los demás elementos de seguridad, el funcionamiento satisfactorio del sistema de confinamiento reduce las consecuencias potenciales máximas a una categoría inferior, entonces debe considerarse una barrera de seguridad. Por otra parte, si el efecto de la contención no basta para cambiar la categoría de las consecuencias potenciales máximas, entonces no debe contarse como una barrera de seguridad adicional. Por ejemplo, un pequeño reactor de investigación tendría consecuencias potenciales máximas de nivel 4 sobre la base de la fusión del combustible y la emisión máxima. El funcionamiento satisfactorio de cualquier contención no reduciría la categoría de las consecuencias potenciales máximas dado que la fusión de combustible ya está en el nivel 4. Por este motivo, la

contención no se consideraría una barrera de seguridad adicional. Por otro lado, los ejemplos 52 y 55 muestran situaciones en las que resulta apropiado considerar a la contención como barrera de seguridad.

#### *6.2.2.3. Barreras de seguridad de gran integridad*

En algunas situaciones, quizás se disponga de una barrera de seguridad de gran integridad (por ejemplo, una vasija a presión del reactor o un elemento de seguridad basado en fenómenos pasivos probados y naturales, como la refrigeración por convección). En esos casos, puesto que se ha demostrado la gran integridad o fiabilidad de la barrera, sin duda sería poco apropiado tratar una barrera así de la misma manera que otras barreras de seguridad al aplicar estas orientaciones.

Una barrera de seguridad de gran integridad debe presentar las siguientes características:

- Estar diseñada para hacer frente a todos los fallos base de diseño pertinentes y explícita o implícitamente reconocida en la justificación de la seguridad de la instalación como barrera que ofrece una fiabilidad o integridad particularmente elevada;
- Su integridad debe estar garantizada mediante una monitorización o inspección apropiada, de manera que se identifique cualquier degradación de la integridad;
- Si se detecta cualquier degradación de la barrera, deben existir medios claros para hacer frente al suceso y aplicar medidas correctoras, bien mediante procedimientos predeterminados, bien mediante la disponibilidad de tiempo prolongado para reparar o mitigar el fallo.

Ejemplos de barrera de gran integridad serían una vasija o una cámara acorazada. Los controles administrativos normalmente no satisfarían los requisitos de una barrera de gran integridad aunque, tal como se ha indicado anteriormente, ciertos procedimientos operacionales también pueden considerarse barreras de seguridad de gran integridad si se dispone de plazos muy prolongados para ejecutar las medidas requeridas, corregir los errores, si los hubiere, del personal de operación y si existe un amplio espectro de medidas disponibles.

#### *6.2.2.4. Tiempo disponible*

En algunas situaciones, el tiempo de que se dispone para aplicar medidas correctoras puede ser considerablemente mayor que el requerido para ello y

puede, por tanto, permitir la puesta a disposición de barreras de seguridad adicionales. Estas barreras de seguridad adicionales pueden tomarse en consideración siempre y cuando existan procedimientos para aplicar las medidas requeridas. Cuando varias barreras de este tipo se activen mediante la acción del operador en respuesta a alarmas o indicaciones, hay que examinar la fiabilidad del procedimiento propiamente dicho. Se considera que el tiempo disponible para aplicar el procedimiento tiene un impacto significativo en la fiabilidad que puede afirmarse que tienen los procedimientos operacionales (véanse los ejemplos en la sección 6.4.1).

En algunos casos, quizás se disponga de tanto tiempo que exista la posibilidad de recurrir a toda una serie de barreras de seguridad potenciales respecto de las cuales no se ha considerado necesaria la identificación detallada en la justificación de la seguridad o la inclusión en el procedimiento de la información detallada sobre cómo hacer uso de cada una de ellas. En esos casos (siempre y cuando haya una serie de medidas viables que se puedan aplicar), este largo tiempo disponible constituye por sí mismo una barrera de seguridad de gran fiabilidad.

### **6.2.3. Evaluación de la clasificación básica**

#### *6.2.3.1. Proceso de clasificación*

Una vez identificadas las consecuencias potenciales máximas y el número de barreras de seguridad reales, la clasificación básica debe determinarse como sigue:

- 1) El análisis de seguridad para la instalación identificará una amplia gama de sucesos que se han tenido en cuenta en el diseño. Reconocerá que se puede razonablemente “prever” que un subconjunto de éstos se produzcan durante la vida útil de la instalación (es decir, tendrán una frecuencia mayor que  $1/N$  por año, donde  $N$  es la vida de la instalación). Si la demanda de actuación de los elementos de seguridad durante el suceso era uno de esos sucesos “previstos” y los sistemas de seguridad facilitados para hacer frente a ese suceso estuvieron plenamente disponibles antes del suceso y se comportaron como estaba previsto, la clasificación básica para el suceso debe ser Debajo de la escala / Nivel 0.
- 2) De igual modo, si no se produjo ninguna demanda real de actuación de los elementos de seguridad, pero se descubrió que éstos estaban degradados, la clasificación básica del suceso debe ser Debajo de la escala / Nivel 0 si la operabilidad degradada de los elementos de seguridad aún se encontraba dentro de los límites autorizados.

- 3) En todas las demás situaciones, debe utilizarse el cuadro 11 para determinar la clasificación básica.
  - a) Si solo queda una barrera de seguridad, pero ésta cumple todos los requisitos de una barrera de seguridad de gran integridad (sección 6.2.2.3) o si el largo tiempo disponible proporciona una barrera de seguridad de gran integridad (sección 6.2.2.4), será más apropiado asignar una clasificación básica de Debajo de la escala / Nivel 0<sup>18</sup>.
  - b) Si el período de no disponibilidad de una barrera de seguridad fue muy breve en comparación con el intervalo entre pruebas de los componentes de la barrera de seguridad (por ejemplo, un par de horas en el caso de un componente con un período entre pruebas de un mes), conviene contemplar la posibilidad de reducir la clasificación básica del suceso.

Aunque este enfoque requiere inevitablemente la aplicación de criterio propio, la sección 6.3 da pautas para tipos específicos de sucesos, y la sección 6.4 da algunos ejemplos prácticos sobre el uso del enfoque de barreras de seguridad.

6.2.3.2. *Sucesos potenciales (incluidos defectos estructurales)*

Algunos sucesos no reducen por sí mismos el número de barreras de seguridad, pero corresponden a un aumento de la probabilidad de que se

**CUADRO 11. CLASIFICACIÓN DE SUCESOS MEDIANTE EL ENFOQUE DE BARRERAS DE SEGURIDAD**

Número de barreras de seguridad restantes		Consecuencias potenciales máximas <sup>a</sup>		
		(1) Niveles 5, 6, 7	(2) Niveles 3, 4	(3) Niveles 2 o 1
A	Más de 3	0	0	0
B	3	1	0	0
C	2	2	1	0
D	1 o 0	3	2	1

<sup>a</sup> Estas clasificaciones no pueden incrementarse debido a factores adicionales porque ya son el límite superior para la defensa en profundidad.

<sup>18</sup> Si la operabilidad de las barreras de seguridad estuviera fuera de los límites autorizados, las orientaciones de la sección 6.2.4.3 podrían llevar a una clasificación de nivel 1.

reduzcan. Algunos ejemplos son el descubrimiento de defectos estructurales, una fuga resuelta debido a la acción del personal de operación o fallos descubiertos en sistemas de control de procesos. El enfoque de la clasificación de esos sucesos es el siguiente. En primer lugar, hay que evaluar la importancia del suceso potencial suponiendo que éste hubiera tenido lugar en realidad y aplicando las orientaciones de la sección 6.2.3.1, sobre la base del número de barreras de seguridad que hubiesen quedado. En segundo lugar, habría que reducir la clasificación en función de la probabilidad de que el suceso potencial pudiera haberse desarrollado a partir del suceso que realmente se produjo. El nivel al que habría que reducir la clasificación debe basarse en un criterio propio.

Uno de los ejemplos más comunes de sucesos potenciales es el descubrimiento de defectos estructurales. El programa de vigilancia tiene por objeto identificar defectos estructurales antes de que adquieran dimensiones sea inaceptables. Si el defecto está dentro de este límite, entonces la categoría Debajo de la escala / Nivel 0 será apropiada.

Si el defecto es mayor de lo previsto en el programa de vigilancia, la clasificación del suceso ha de tener en cuenta dos factores.

Primeramente, la clasificación del suceso potencial debe determinarse suponiendo que el defecto ha dado lugar a la avería del componente y aplicando las orientaciones de la sección 6.2.3.1. La clasificación del suceso potencial así obtenida debe ajustarse luego en función de la probabilidad de que el defecto hubiera dado lugar al suceso potencial y teniendo en cuenta los factores adicionales analizados en la sección 6.2.4.

#### *6.2.3.3. Sucesos en la categoría Debajo de la escala / Nivel 0*

En general, los sucesos deben clasificarse como Debajo de la escala / Nivel 0 únicamente si la aplicación de los procedimientos descritos anteriormente no da lugar a una clasificación más elevada. No obstante, siempre y cuando no sea aplicable ninguno de los factores adicionales examinados en la sección 6.2.4, los siguientes tipos de sucesos son característicos de los que se clasificarán como Debajo de la escala / Nivel 0:

- Funcionamiento espurio<sup>19</sup> de los sistemas de seguridad, seguido de una vuelta a la operación normal sin afectar a la seguridad de la instalación;

---

<sup>19</sup> En este sentido, un funcionamiento espurio incluye el funcionamiento de un sistema de seguridad como consecuencia del mal funcionamiento de un sistema de control, de los instrumentos o un error humano. No obstante, el accionamiento del sistema de seguridad iniciado por variaciones en parámetros físicos que hayan sido provocadas por acciones no deliberadas en otros lugares de la planta no se considera una iniciación espuria del sistema de seguridad.

- Ninguna degradación significativa de las barreras (tasa de fuga inferior a los límites autorizados);
- Fallos puntuales o inoperabilidad de componentes en un sistema redundante, descubiertos durante una inspección o prueba periódica programada.

#### **6.2.4. Consideración de factores adicionales**

Existen aspectos concretos que pueden activar simultáneamente distintas barreras de la defensa en profundidad y han de considerarse, por consiguiente, factores adicionales que pueden justificar la clasificación de un suceso un nivel por encima del que resulta de las orientaciones anteriores.

Los factores adicionales principales que actúan así son:

- Fallos de causa común;
- Deficiencias de procedimiento;
- Cuestiones relativas a la cultura de seguridad.

Debido a tales factores, es posible que un suceso sea considerado de nivel 1, aunque no revista importancia para la seguridad por sí solo sin tener en cuenta estos factores adicionales.

Cuando se evalúa el aumento de la clasificación básica debido a estos factores, es necesario tomar en consideración los siguientes aspectos:

- 1) Teniendo en cuenta todos los factores adicionales, la clasificación de un suceso solo puede aumentarse en un nivel.
- 2) Algunos de los factores anteriores pueden haberse incluido ya en la clasificación básica (por ejemplo, un fallo de modo común). Por lo tanto, es importante asegurarse de que esos fallos no se contabilizan dos veces.
- 3) La clasificación del suceso no debe aumentarse por encima del límite superior obtenido de acuerdo con la sección 6.2.1, y este límite superior solo debe aplicarse a las situaciones en las que se hubiese producido un accidente si hubiese tenido lugar otro suceso (bien un suceso previsto dentro de la vida de la planta, bien una avería de un componente adicional).

##### *6.2.4.1. Fallos de causa común*

Un fallo de causa común es el fallo que se produce cuando una serie de dispositivos o componentes no realizan su función a raíz de un único suceso o causa específicos. En particular, puede provocar el fallo de componentes o dispositivos redundantes cuya finalidad es realizar la misma función de seguridad. Esto puede indicar que la fiabilidad de la función de seguridad en su

conjunto podría ser mucho menor de lo previsto. La gravedad de un suceso que afecta a un componente, el cual identifica un fallo potencial de causa común que afecta a otros componentes similares, es, por tanto, mayor que la de un suceso que supone el fallo aleatorio del componente.

Los sucesos en los que hay dificultades para operar algunos sistemas provocadas por falta de información o información engañosa también se pueden tomar en consideración para aumentar la clasificación sobre la base de un fallo de causa común.

#### *6.2.4.2. Deficiencias de procedimiento*

La demanda de actuación de varias barreras de la defensa en profundidad de forma simultánea puede darse debido a las deficiencias de los procedimientos. Tales deficiencias son también, por tanto, un posible motivo para aumentar la clasificación básica.

#### *6.2.4.3. Sucesos con implicaciones para la cultura de seguridad*

La cultura de seguridad se ha definido como el conjunto de características y actitudes en organizaciones e individuos que establece, como prioridad absoluta, que las cuestiones de protección y de seguridad reciban la atención exigida por su importancia. Una buena cultura de seguridad ayuda a evitar incidentes pero, por otra parte, la ausencia de cultura de seguridad podría tener como resultado la realización de tareas por el personal de operación de formas que no se ajusten a los supuestos del diseño. La cultura de seguridad ha de considerarse, por tanto, parte de la defensa en profundidad y, por consiguiente, las cuestiones relativas a la cultura de seguridad podrían justificar el aumento en un nivel de la clasificación de un suceso (INSAG 4 [7] da más información sobre la cultura de seguridad).

Para que se justifique un aumento de clasificación debido a cuestiones relativas a la cultura de seguridad, el suceso ha de considerarse un indicador real de un problema en la cultura de seguridad.

#### ***Violación de los límites autorizados***

Uno de los indicadores de un problema en la cultura de seguridad más fácilmente definidos es una violación de los límites autorizados, los cuales también pueden denominarse LCO.

En muchas instalaciones, los límites autorizados incluyen la operabilidad mínima de sistemas de seguridad de modo que la operación se realice respetando los requisitos de seguridad de la planta. También pueden incluir la operación con una disponibilidad reducida del sistema de seguridad por un tiempo limitado. En

algunas instalaciones existen especificaciones técnicas que incluyen los límites autorizados y además, en caso de que no se cumplan los requisitos, dichas especificaciones técnicas describen las medidas que se han de adoptar, incluidos los tiempos permitidos para la recuperación así como el estado de repliegue apropiado.

Si el personal de operación permanece más tiempo del permitido en un estado de disponibilidad reducida (según se define en las especificaciones técnicas) o si adopta medidas deliberadas que dan lugar a que la disponibilidad de la planta esté fuera de un estado permitido, debe considerarse la posibilidad de aumentar la clasificación básica del suceso por cuestiones relativas a la cultura de seguridad.

Si se descubre que la disponibilidad de un sistema es menor que la permitida por los límites autorizados (por ejemplo, tras una prueba rutinaria), pero el personal de operación adopta inmediatamente las medidas apropiadas para devolver la planta a un estado seguro de acuerdo con las especificaciones técnicas, el suceso debe clasificarse tal como se describe en la sección 6.2.3.1, si bien la clasificación básica no debe incrementarse ya que se han seguido los requisitos de las especificaciones técnicas.

Además de los límites autorizados oficiales, algunos países introducen en sus especificaciones técnicas más requisitos, como límites relacionados con la seguridad a largo plazo de los componentes. En el caso de sucesos en los que tales límites se rebasan por un corto período de tiempo, la categoría Debajo de la escala / Nivel 0 podría ser más apropiada.

En el caso de reactores en situación de parada, las especificaciones técnicas especificarán de nuevo los requisitos mínimos de disponibilidad pero por lo general no especificarán tiempos de recuperación o estados de repliegue ya que no es posible identificar un estado más seguro. El requisito será restablecer el estado original de la planta tan pronto como sea posible. La reducción de disponibilidad de la planta por debajo de la requerida en las especificaciones técnicas no debe considerarse una violación de los límites autorizados a no ser que se rebasen los plazos.

### ***Otras cuestiones relativas a la cultura de seguridad***

Otros ejemplos de indicadores de una deficiencia en la cultura de seguridad podrían ser:

- la violación de un procedimiento sin autorización previa;
- una deficiencia en el proceso de garantía de calidad;
- una acumulación de errores humanos;

- la exposición a partir de un suceso único de un miembro de la población por encima de los límites de dosis reglamentarios anuales;
- la exposición acumulada de los trabajadores o miembros de la población por encima de los límites de dosis reglamentarios anuales;
- el no mantenimiento de un control adecuado de los materiales radiactivos, incluidas las emisiones en el medio ambiente, la propagación de la contaminación o un fallo en los sistemas de control de dosis;
- la repetición de un suceso, cuando haya pruebas de que el explotador no se ha ocupado debidamente de que se hayan aprendido las lecciones o de que se hayan adoptado medidas correctoras tras el primer suceso.

Es importante observar que el propósito de las presentes orientaciones no es iniciar una evaluación extensa y detallada sino estudiar si existe una opinión inmediata que puedan emitir las personas que están clasificando el suceso. A menudo es difícil determinar inmediatamente tras el suceso si debe aumentarse la clasificación del mismo debido a la cultura de seguridad. En este caso, debe proporcionarse una clasificación provisional basada en lo que se sabe en ese momento; luego, en la clasificación definitiva se puede tener en cuenta la información adicional relativa a la cultura de seguridad que se habrá generado a partir de una investigación detallada.

### 6.3. ORIENTACIONES SOBRE EL USO DEL ENFOQUE DE BARRERAS DE SEGURIDAD PARA TIPOS ESPECÍFICOS DE SUCESOS

#### 6.3.1. **Sucesos que implican fallos en sistemas de refrigeración durante una parada del reactor**

La mayoría de sistemas de seguridad del reactor han sido diseñados para hacer frente a iniciadores que se producen durante la operación a potencia. Los sucesos en estado de parada caliente o de arranque son bastante parecidos a los sucesos durante la operación a potencia y deben clasificarse aplicando lo indicado en la sección 5. Una vez que el reactor está en régimen de parada, algunos de estos sistemas de seguridad siguen siendo necesarios para garantizar las funciones de seguridad, pero normalmente se dispone de más tiempo. Por otra parte, este tiempo disponible para realizar acciones manuales puede sustituir parte de los elementos de seguridad desde el punto de vista de la redundancia o la diversidad (es decir, según el estado de la planta, una reducción de la redundancia de los equipos y/o barreras de seguridad puede ser aceptable durante algunos períodos de parada fría). En tales condiciones de parada, las configuraciones de las barreras son a veces bastante diferentes (por ejemplo, sistema de refrigerante

del primario abierto o contención abierta). Por estos motivos, se facilita un enfoque alternativo a la clasificación de sucesos para reactores en régimen de parada (es decir, el enfoque de barreras de seguridad).

Los factores principales que afectan a la clasificación son el número de trenes de refrigeración proporcionados, el tiempo disponible para adoptar medidas correctoras y la integridad de las tuberías para refrigerar las vasijas. En la sección 6.4.1 se dan algunos ejemplos basados en reactores de agua a presión en parada fría (ejemplos 41 a 46) con el fin de dar unas pautas para clasificar sucesos siguiendo el enfoque de barreras de seguridad. Para otros tipos de reactor, será necesario usar esto como orientación ilustrativa, junto con la sección 6.2, a fin de clasificar tales sucesos.

### **6.3.2. Sucesos que implican fallos en sistemas de refrigeración que afectan a la piscina de combustible gastado**

Tras algunos años de operación, el inventario radiactivo de la piscina de combustible gastado puede ser elevado. En este caso, la clasificación de sucesos que afectan a la piscina de combustible gastado con respecto al impacto en la defensa en profundidad puede abarcar toda la gama hasta el nivel 3.

Debido al gran inventario de agua y al calor de desintegración comparativamente bajo, por lo general hay tiempo suficiente disponible para adoptar medidas correctoras para sucesos que implican la degradación de la refrigeración de la piscina de combustible gastado. Esto es igualmente válido en el caso de una pérdida de refrigerante de la piscina de combustible gastado, puesto que la fuga de la piscina está limitada por diseño. Así, un fallo del sistema de refrigeración de la piscina de combustible gastado durante unas horas o una fuga de refrigerante normalmente no afectarán al combustible gastado.

Por consiguiente, la degradación poco importante del sistema de refrigeración de la piscina o las fugas pequeñas deben considerarse en general Debajo de la escala / Nivel 0.

La operación fuera de los LCO o un aumento considerable de la temperatura o un descenso del nivel de refrigerante de la piscina de combustible gastado deben ser clasificados como nivel 1.

Una indicación de nivel 2 podría ser la ebullición generalizada de refrigerante o el hecho de que los elementos combustibles queden al descubierto. Un descubrimiento considerable de los elementos combustibles es un indicio claro de nivel 3.

### 6.3.3. Control de la criticidad

El comportamiento de un sistema crítico y sus consecuencias radiológicas dependen en gran medida de las condiciones y características físicas del sistema. En soluciones fisibles homogéneas, el número posible de fisiones, el nivel de potencia del transitorio de criticidad y las consecuencias potenciales de un transitorio de criticidad están limitados por estas características. La experiencia con transitorios de criticidad en soluciones fisibles indica que el número total de fisiones es normalmente del orden de  $10^{17}$ – $10^{18}$ .

Los sistemas críticos heterogéneos, tales como las retículas de las varillas combustibles o los sistemas críticos sólidos secos tienen el potencial de experimentar altos picos de potencia que pueden dar lugar a una liberación explosiva de energía y a la emisión de grandes cantidades de material radiactivo debido a daños sustanciales a la instalación. Para esas instalaciones, las consecuencias máximas potenciales podrían sobrepasar el nivel 4.

En el caso de otras instalaciones, el peligro principal de un transitorio de criticidad es la exposición de personal debido a campos de alta radiación causados por radiación neutrónica o gamma directa. Una segunda consecuencia puede ser una emisión a la atmósfera de productos de fisión radiactivos de período corto y una contaminación potencialmente grave dentro de la instalación. Para estos dos escenarios, las consecuencias máximas potenciales podrían ser de nivel 3 o 4.

Según las orientaciones generales:

- Las desviaciones menores del régimen de seguridad de criticidad que estén dentro de los límites autorizados deben considerarse Debajo de la escala / Nivel 0.
- La operación fuera de los límites autorizados debe considerarse al menos de nivel 1.
- Un suceso en el que podría haberse producido un suceso de criticidad si hubiese habido un fallo más en los elementos de seguridad o si las condiciones hubiesen sido ligeramente diferentes debe considerarse de nivel 2 para las instalaciones, con consecuencias potenciales máximas de nivel 3 o 4. Si las consecuencias potenciales máximas pudieran haber sido de nivel 5 o más, el suceso debe clasificarse como de nivel 3.

Si queda más de una barrera de seguridad, entonces un nivel más bajo sería apropiado, y debe usarse el cuadro 11 para determinar la clasificación apropiada.

#### **6.3.4. Emisión o dispersión de contaminación no autorizada**

Cualquier suceso que suponga una transferencia de material radiactivo y dé lugar a un nivel de contaminación por encima del nivel de investigación para el área puede justificar una clasificación de nivel 1, sobre la base de las cuestiones relativas a la cultura de seguridad (sección 6.2.4 “no mantenimiento de un control adecuado sobre los materiales radiactivos”). Los niveles de contaminación por encima del límite autorizado para el área deben clasificarse en el nivel 1. Fallos más importantes de los elementos de seguridad deben clasificarse considerando las consecuencias potenciales máximas si fallasen todos los elementos de seguridad y el número de barreras de seguridad restantes.

Las violaciones de las autorizaciones de descarga deben considerarse al menos de nivel 1.

#### **6.3.5. Control de dosis**

Ocasionalmente pueden darse situaciones en las que los procedimientos de control de dosis y las disposiciones administrativas sean inadecuados y los empleados reciban exposiciones a la radiación no planeadas (internas y externas). Esos sucesos pueden justificar una clasificación de nivel 1 sobre la base de la sección 6.2.4 (no mantenimiento de un control adecuado sobre los materiales radiactivos). Si como resultado del suceso la dosis acumulada rebasa los límites autorizados, el suceso debe considerarse al menos de nivel 1 por ser una violación de dichos límites.

En general, las orientaciones de la sección 6.2.4 no deben emplearse para aumentar la clasificación de sucesos relativos a fallos de control de dosis con una clasificación básica de nivel 1. Por lo demás, los sucesos en los que se evitó que se recibieran dosis se clasificarán al mismo nivel que aquéllos en los que se recibieron dosis importantes por encima de los límites de dosis. No obstante, el nivel 2 sería apropiado en función de la defensa en profundidad si queda una barrera de seguridad o no queda ninguna, y si las consecuencias potenciales máximas, si fallasen los elementos de seguridad, son de nivel 3 o 4.

#### **6.3.6. Enclavamientos en puertas a recintos blindados**

La entrada accidental a lugares normalmente blindados se evita en general mediante el uso de sistemas de enclavamiento en las puertas de entrada activados por radiación, el uso de procedimientos de autorización de entrada y la comprobación antes de la entrada de las tasas de dosis de radiación.

El fallo de la protección por enclavamiento de puertas blindadas puede derivarse de una pérdida del suministro eléctrico y/o de defectos en el o los detectores o en los equipos electrónicos conexos o de errores humanos.

Dado que las consecuencias potenciales máximas de tales sucesos se limitan al nivel 4, los sucesos en los que un fallo más de los elementos de seguridad daría lugar a un accidente deben considerarse de nivel 2. Los sucesos en los que han fallado algunos elementos, pero en los que siguen existiendo barreras de seguridad adicionales, incluidas las disposiciones administrativas que rigen la autorización para la entrada, deben clasificarse en general como de nivel 1.

### **6.3.7. Fallo de los sistemas de ventilación por extracción, de filtración y de limpieza**

En las instalaciones en las que se trabaja con cantidades importantes de material radiactivo, puede haber hasta tres sistemas de ventilación por extracción distintos pero interrelacionados. Éstos mantienen un gradiente de presión entre las distintas vasijas, celdas / caja de guantes y zonas de operación, así como caudales adecuados a través de aberturas en el muro divisorio de la zona de operación de celdas para evitar la difusión hacia atrás de material radiactivo. Además, se proporcionan sistemas de limpieza, tales como filtros de aire particulado de alta eficacia (HEPA) o sistemas de depuración del aire evacuado, para reducir las descargas a la atmósfera por debajo de límites predefinidos y evitar la difusión hacia atrás en zonas de actividad más reducida.

El primer paso para la clasificar sucesos relacionados con la pérdida de esos sistemas es determinar las consecuencias potenciales máximas si fallasen todos los elementos de seguridad. Para ello se debe tomar en consideración el inventario de material y los medios posibles para su dispersión tanto dentro como fuera de la instalación. También es necesario considerar el potencial de que se produzca un descenso de la concentración de gases inertizantes o una acumulación de mezclas explosivas. En la mayoría de los casos, a menos que sea posible una explosión, es poco probable que las consecuencias potenciales máximas sobrepasen el nivel 4 y, por tanto, el nivel máximo en función de la defensa en profundidad sería el nivel 2.

El segundo paso es determinar el número de barreras de seguridad aún existentes, incluidos los procedimientos para evitar la generación de más actividad por el cese del trabajo.

La clasificación de estos sucesos viene ilustrada por el ejemplo 52 en la sección 6.4.2.

### **6.3.8. Sucesos de manipulación y caídas de cargas pesadas**

#### *6.3.8.1. Sucesos no relacionados con conjuntos combustibles*

El impacto de los sucesos de manipulación o del fallo de equipos de izado depende del material de que se trate, la zona en la que se produjo el suceso y el equipo que se vio o pudo haberse visto afectado.

Los sucesos en los que una carga que ha caído amenaza con un derrame de material radiactivo (bien de la propia carga que ha caído, bien de tuberías o vasijas afectadas) debe clasificarse considerando las consecuencias potenciales máximas y la probabilidad de que pueda haberse producido tal derrame. Los sucesos en los que una carga que ha caído solo causa daños limitados, pero tenían una probabilidad relativamente elevada de provocar peores consecuencias, debe clasificarse en el nivel máximo en función de la defensa en profundidad que sea adecuado para las consecuencias potenciales máximas. De igual modo, los sucesos en los que solo una barrera de seguridad evitó el daño también deben clasificarse en el nivel máximo a menos que se considere que la barrera tiene una fiabilidad o integridad especialmente elevada.

Los sucesos en los que la probabilidad es menor o en los que existen barreras de seguridad adicionales deben clasificarse siguiendo las orientaciones de la sección 6.2.

Los sucesos de manipulación de poca importancia, que cabe esperar durante la vida útil de la instalación, deben clasificarse como Debajo de la escala / Nivel 0.

#### *6.3.8.2. Sucesos relacionados con la manipulación de combustible*

Los sucesos durante la manipulación de elementos combustibles de uranio no irradiado que no presentan implicaciones importantes para la manipulación de combustible irradiado deben considerarse en general Debajo de la escala / Nivel 0 si no ha habido riesgo de daño a elementos combustibles gastados o equipos relacionados con la seguridad.

En el caso del combustible irradiado, el inventario radiactivo de un solo elemento combustible es mucho menor que el inventario de la piscina de combustible gastado o del núcleo del reactor por lo que las consecuencias potenciales máximas son menores.

Siempre que se garantice la refrigeración del elemento combustible gastado, esto proporciona una barrera de seguridad importante puesto que la integridad de la matriz de combustible no se verá degradada por sobrecalentamiento. En general, habrá plazos muy largos asociados al sobrecalentamiento del combustible. Según la configuración de la instalación, en

la mayoría de los casos la contención también constituirá una barrera de seguridad.

Los sucesos *previstos* durante la vida útil de la instalación que no afectan a la refrigeración del elemento combustible gastado y que solo dan lugar a una pequeña o ninguna liberación deben considerarse por lo general Debajo de la escala / Nivel 0.

Debe considerarse la posibilidad de clasificar con el nivel 1 los sucesos:

- no previstos durante la vida útil de la instalación;
- que implican la operación fuera de los límites autorizados;
- que suponen una degradación limitada de la refrigeración que no afecta a la integridad de las varillas combustibles;
- que suponen daños mecánicos a la integridad de las varillas combustibles sin que haya degradación de la refrigeración.

El nivel 2 puede ser adecuado para sucesos en los que la integridad de las varillas combustibles sufra daños como consecuencia de un calentamiento considerable del elemento combustible.

### **6.3.9. Pérdida de suministro eléctrico**

En muchas instalaciones es a menudo necesario proporcionar un suministro eléctrico garantizado para asegurar una operación segura continuada y mantener la disponibilidad de los equipos de monitorización y los instrumentos de vigilancia. A fin de evitar fallos de causa común se emplean varias vías independientes de suministro eléctrico y diversos medios de suministro. Aunque la mayoría de las instalaciones entrarán en régimen de parada automáticamente hasta alcanzar un estado seguro cuando se produzca una pérdida total de suministro eléctrico, en algunas de ellas habrá elementos de seguridad adicionales, tales como el uso de gases inertizantes o de generadores de apoyo.

Con miras a clasificar sucesos relacionados con una pérdida del suministro eléctrico exterior o fallos de los sistemas de suministro del emplazamiento, es necesario usar las orientaciones de la sección 6.2, teniendo en cuenta cuántos suministros quedan, el tiempo durante el cual no estuvieron disponibles los suministros y las consecuencias potenciales máximas. Es particularmente importante tomar en consideración el retraso aceptable antes de que se precise el restablecimiento del suministro.

En el caso de algunas instalaciones no habrá efectos negativos sobre la seguridad, incluso con una pérdida total del suministro eléctrico que dure varios días, y tales sucesos en estas instalaciones deben clasificarse en general como Debajo de la escala / Nivel 0 o como nivel 1, ya que deberían existir varios

medios para restablecer los suministros en el tiempo disponible. El nivel 1 sería apropiado si la disponibilidad de los sistemas de seguridad hubiese rebasado los límites autorizados.

La pérdida parcial de energía eléctrica o la pérdida de energía eléctrica de la red normal con un suministro eléctrico disponible de los sistemas de reserva es un elemento “previsto” durante la vida útil de la instalación y, por tanto, debe clasificarse como Debajo de la escala / Nivel 0.

### **6.3.10. Incendios y explosiones**

Un incendio o una explosión dentro o al lado de la instalación que no tenga el potencial de degradar ningún elemento de seguridad no se clasificaría con esta escala o se clasificaría como Debajo de la escala / Nivel 0. Los incendios extinguidos mediante los sistemas de protección instalados, que funcionen según se previó en el diseño, deben clasificarse de manera similar.

La importancia de los incendios y las explosiones en las instalaciones depende no solo del material de que se trate sino también de la ubicación y la facilidad con la que pueden llevarse a cabo las operaciones de lucha contra incendios. La clasificación depende de las consecuencias potenciales máximas, así como del número y la eficacia de las barreras de seguridad que sigan funcionando, incluidas las barreras contra incendios, los sistemas de extinción de incendios y los sistemas de seguridad separados. La eficacia de las restantes barreras de seguridad debe tener en cuenta la probabilidad de que se hayan visto degradadas.

Cualquier incendio o explosión relacionado con desechos de actividad baja debe clasificarse como nivel 1 debido a las deficiencias en los procedimientos o a cuestiones relativas a la cultura de seguridad.

### **6.3.11. Peligros externos**

Los peligros externos, como incendios externos, inundaciones, maremotos, explosiones externas, huracanes, tornados o terremotos puede clasificarse del mismo modo que otros sucesos considerando la eficacia de los elementos de seguridad que sigan funcionando.

En el caso de sucesos relacionados con fallos en sistemas específicamente facilitados para la protección contra estos peligros, debe calcularse el número de barreras de seguridad, incluida la probabilidad de que el peligro se dé durante el tiempo en el que no esté disponible el sistema. Para la mayoría de las instalaciones, debido a la baja frecuencia prevista de tales peligros, es poco probable que sea apropiada una clasificación superior al nivel 1.

### **6.3.12. Fallos en los sistemas de refrigeración**

Los fallos en los sistemas de refrigeración esenciales pueden clasificarse de manera parecida a los fallos en sistemas eléctricos teniendo en cuenta las consecuencias potenciales máximas, el número de barreras de seguridad que siguen funcionando y el retraso que es aceptable antes de que se requiera el restablecimiento de la refrigeración.

En el caso de fallos en los sistemas de refrigeración del almacenamiento de plutonio o de residuos líquidos de alta actividad, es probable que el nivel 3 sea adecuado cuando se trate de sucesos en los que solo quede una barrera de seguridad durante un período de tiempo considerable.

## **6.4. EJEMPLOS PRÁCTICOS**

### **6.4.1. Sucesos en un reactor de potencia en régimen de parada**

#### **Ejemplo 41. Pérdida de refrigeración en parada debido a un aumento de presión del refrigerante – Debajo de la escala / Nivel 0**

##### *Descripción del suceso*

Se estaba proporcionando refrigeración en parada por circulación de refrigerante a través de dos intercambiadores de calor de extracción de calor residual (RHR) por dos líneas de aspiración distintas, cada una con dos válvulas de aislamiento. Las válvulas de cada línea estaban controladas por transductores de presión independientes y eran operables desde la sala de control. El circuito primario estaba cerrado. Los generadores de vapor también estaban disponibles y garantizaban que cualquier aumento de temperatura provocado por una pérdida de RHR sería muy lento. No se disponía de inyección de seguridad, las bombas de inyección de seguridad de alta presión (HPSI) son independientes de las bombas de carga, y las válvulas de alivio estaban disponibles para controlar la presión del circuito primario.

Los elementos de seguridad se ilustran en la figura 1.

El suceso se produjo cuando un aumento de la presión del refrigerante hizo que se cerraran las válvulas de aislamiento. Las alarmas en sala de control advirtieron al personal de operación del cierre de las válvulas, y las válvulas volvieron a abrirse cuando el personal redujo la presión. Las temperaturas no superaron los valores establecidos en los límites y condiciones operacionales.

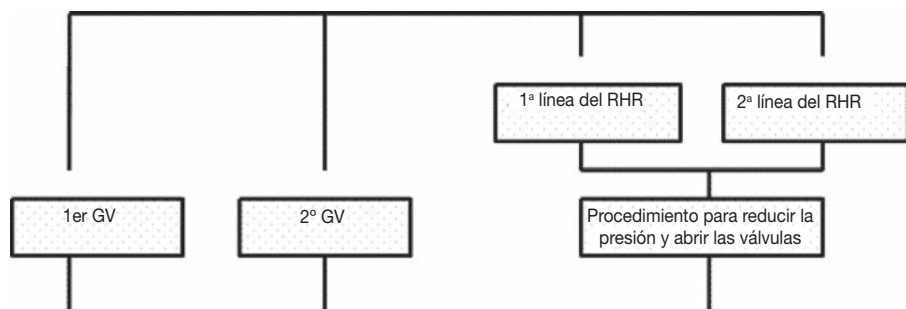


Fig. 1. Ilustración de los elementos de seguridad para el ejemplo 41.

### Explicación de la clasificación

Criterios	Explicación
2. y 3. Consecuencias reales:	No hubo consecuencias reales del suceso.
6.2.1. Consecuencias potenciales máximas:	Las consecuencias potenciales máximas para un suceso relacionado con un reactor de potencia en régimen de parada son los niveles 5 a 7.
6.2.2. Determinación del número de barreras de seguridad:	Había cuatro barreras físicas y, si los generadores de vapor permanecían disponibles, había mucho tiempo para las medidas requeridas, suficiente incluso para permitir la realización de reparaciones en el sistema RHR. Como resultado de los largos plazos disponibles, el procedimiento para volver a abrir las válvulas puede considerarse más fiable que una sola barrera, y las cuatro barreras pueden considerarse independientes.
6.2.3. Evaluación de la clasificación básica:	Según el cuadro 11, la clasificación es Debajo de la escala / Nivel 0.
Clasificación global:	Debajo de la escala / Nivel 0.

### Ejemplo 42. Pérdida de refrigeración en parada debido al funcionamiento espurio de sensores de presión – Debajo de la escala / Nivel 0

#### Descripción del suceso

Se estaba proporcionando refrigeración en parada por circulación de refrigerante a través de un solo intercambiador de calor de extracción de calor

residual (RHR) por una sola línea de aspiración con dos válvulas de aislamiento. Las válvulas son operables desde la sala de control. El circuito primario estaba abierto, con la cavidad inundada. El reactor llevaba parado una semana, así que cualquier aumento de temperatura del refrigerante sería muy lento. Los generadores de vapor estaban abiertos por mantenimiento y por tanto, no estaban disponibles. No había inyección de seguridad disponible, las bombas de inyección de vapor de alta presión (HPSI) son independientes de las bombas de carga, y había válvulas de alivio disponibles para controlar la presión del circuito primario.

El suceso se produjo cuando el funcionamiento espurio de unos sensores de presión hizo que se cerraran las válvulas de aislamiento. Las alarmas en sala de control avisaron al personal de operación del cierre de las válvulas, las cuales fueron abiertas de nuevo cuando se comprobó que el aumento de presión había sido una señal espuria. Las temperaturas no subieron por encima de los valores incluidos en los límites y condiciones operacionales; se hubiesen tardado 10 horas en alcanzar esos límites.

*Explicación de la clasificación*

Criterios	Explicación
2. y 3. Consecuencias reales:	No hubo consecuencias reales del suceso.
6.2.1. Consecuencias potenciales máximas:	Las consecuencias potenciales máximas de un suceso relacionado con un reactor de potencia en régimen de parada son los niveles 5 a 7.
6.2.2. Determinación del número de barreras de seguridad:	<p>Teniendo en cuenta la función de seguridad de la refrigeración del combustible, existen dos barreras de seguridad. La primera es el sistema RHR, y la segunda es el largo tiempo disponible para añadir agua con el fin de mantener el nivel de agua a medida que se pierden agua y calor por evaporación.</p> <p>La segunda barrera puede considerarse una barrera muy fiable (sección 6.2.2.4) por los siguientes motivos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— hay plazos largos disponibles para actuar (al menos 10 h para alcanzar los límites operacionales);</li> <li>— existen varias maneras de añadir agua adicional (por ejemplo, la inyección de seguridad de baja presión, mangueras contra incendios), aunque la concentración de boro debe controlarse;</li> <li>— esta barrera de seguridad está contemplada en la justificación de la seguridad como un sistema clave de seguridad.</li> </ul> <p>Además, se disponía de tiempo suficiente para realizar reparaciones en el sistema RHR si hubiese sido necesario.</p>
6.2.3. Evaluación de la clasificación básica:	Las orientaciones de la sección 6.2.3.1 dan una clasificación de Debajo de la escala / Nivel 0.
Clasificación global:	Debajo de la escala / Nivel 0.

**Ejemplo 43. Pérdida total de refrigeración en parada – Nivel 1**

*Descripción del suceso*

Se perdió totalmente la refrigeración en parada de la vasija del reactor durante varias horas al cerrarse automáticamente las válvulas de aislamiento por aspiración del sistema RHR, que estaba en funcionamiento. Estas válvulas se cerraron debido a la pérdida de suministro eléctrico en la división 2 del sistema de protección de la seguridad nuclear como consecuencia de un mantenimiento inadecuado. La alimentación eléctrica alternativa ya había sido aislada para someterla a mantenimiento. La unidad había estado en régimen de parada durante largo tiempo (aproximadamente 16 meses) y el calor de decaimiento era muy bajo. Durante el período de tiempo en que no estuvo disponible la refrigeración en parada, el agua en la vasija del reactor comenzó a calentarse a un ritmo de aproximadamente 0,3 °C/h. Se volvió a poner en marcha el sistema RHR aproximadamente 6 h después del suceso inicial.

*Explicación de la clasificación*

Criterios	Explicación
2. y 3. Consecuencias reales:	No hubo consecuencias reales del suceso.
6.2.1. Consecuencias potenciales máximas:	Las consecuencias potenciales máximas de un suceso relacionado con un reactor de potencia en régimen de parada son los niveles 5 a 7.
6.2.2. Determinación del número de barreras de seguridad:	Para este suceso en concreto, se disponía de mucho tiempo antes de que pudiesen darse consecuencias importantes como la degradación del núcleo o exposiciones a la radiación significativas. Este tiempo disponible permite la implementación de una amplia gama de medidas para corregir la situación y puede considerarse, por tanto, una barrera de seguridad muy fiable, tal como se mencionó en la sección 6.2.2.4.
6.2.3. Evaluación de la clasificación básica:	La clasificación básica del suceso es Debajo de la escala / Nivel 0.
6.2.4. Factores adicionales:	El mantenimiento inadecuado hizo que el reactor quedase fuera de los LCO, por lo que la clasificación se incrementó al nivel 1.
Clasificación global:	Nivel 1

Si el calor de decaimiento no hubiese sido muy reducido, el tiempo disponible hubiese sido mucho menor y no hubiese podido considerarse una barrera de gran integridad. En tal caso, las barreras de seguridad efectivas son las siguientes:

- Los procedimientos y las medidas por parte del personal de operación para restablecer la alimentación eléctrica a la división 2 del sistema de protección de la seguridad nuclear;
- Los procedimientos y las medidas por parte del personal de operación para restablecer la refrigeración por RHR con sistemas alternativos.

Siendo dos el número de barreras restantes, el suceso se hubiera clasificado como nivel 2. No se hubiera aumentado hasta el nivel 3 ya que un fallo más no hubiese dado lugar a un accidente (véase la sección 6.2.4).

#### **Ejemplo 44. Pérdida de refrigeración en parada debido a un aumento de presión del refrigerante – Nivel 2**

##### *Descripción del suceso*

El diseño es idéntico al del ejemplo 41, pero los generadores de vapor estaban abiertos por mantenimiento y, por tanto, no estaban disponibles. Los elementos de seguridad se ilustran en la figura 2. El suceso ocurrió algún tiempo después de que el reactor se hubiese sometido a régimen de parada, cuando una subida de la presión del refrigerante hizo que las válvulas de aislamiento por RHR se cerraran. Las alarmas en la sala de control avisaron al personal de operación del cierre de las válvulas, las cuales fueron abiertas de nuevo cuando el personal redujo la presión. Las temperaturas no subieron por encima de los valores incluidos en los LCO. El calor de decaimiento era tan bajo que se hubiesen tardado cinco horas en alcanzar los límites operacionales.

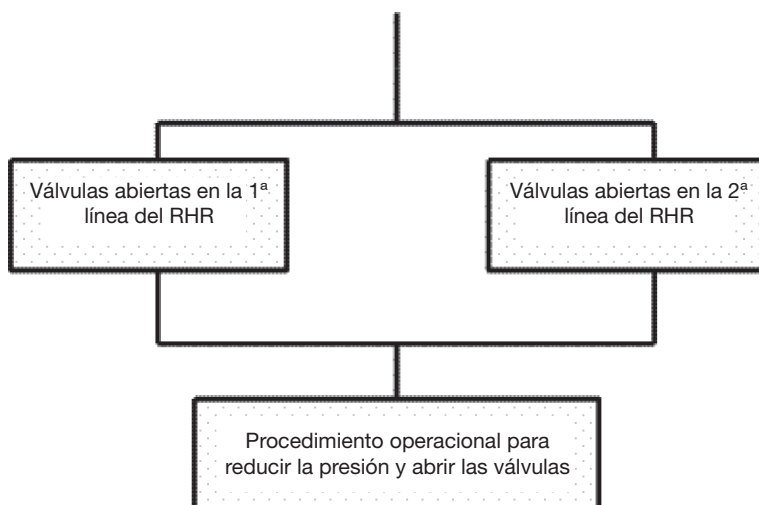


Fig. 2. Ilustración de las barreras de seguridad correspondiente a los ejemplos 44 y 46.

### Explicación de la clasificación

Criterios	Explicación
2. y 3. Consecuencias reales:	No hubo consecuencias reales del suceso.
6.2.1. Consecuencias potenciales máximas:	Las consecuencias potenciales máximas de un suceso relacionado con un reactor de potencia en régimen de parada son los niveles 5 a 7.
6.2.2. Determinación del número de barreras de seguridad:	Los elementos de seguridad se ilustran en la figura 2. Existen dos barreras de seguridad físicas y una barrera de seguridad lógica en serie, y se dispone de al menos 5 h para aplicar las medidas requeridas. Debido al largo tiempo disponible, el procedimiento operacional y las acciones por parte del personal de operación pueden considerarse más fiables que una sola barrera de seguridad. Las dos barreras físicas son ahora el aspecto limitante de los elementos de seguridad.
6.2.3. Evaluación de la clasificación básica:	Según el cuadro 11, la existencia de dos barreras físicas significa que el suceso debe clasificarse como nivel 2.
Clasificación global:	Nivel 2

**Ejemplo 45. Pérdida de refrigeración en parada debido al funcionamiento espurio de sensores de presión – Nivel 3**

*Descripción del suceso*

El diseño es el mismo que en el ejemplo 42, pero el suceso se produjo poco después de la parada. Se estaba proporcionando refrigeración en parada por circulación de refrigerante a través de un intercambiador de calor de RHR por una sola tubería de aspiración con dos válvulas de aislamiento. El circuito primario estaba cerrado. En caso del cierre de las válvulas de aislamiento, la temperatura del refrigerante aumentará, pero se tardará aproximadamente una hora en alcanzar temperaturas inadmisibles. Se podían controlar las válvulas desde la sala de control. Los generadores de vapor estaban abiertos por mantenimiento y, por tanto, no estaban disponibles. No había inyección de seguridad disponible, las bombas HPSI son independientes de las bombas de carga, y se disponía de válvulas de alivio para controlar la presión del circuito primario.

El suceso se produjo cuando el funcionamiento espurio de sensores de presión hizo que se cerraran las válvulas de aislamiento. Las alarmas en sala de control advirtieron al personal de operación del cierre de las válvulas, las cuales fueron abiertas de nuevo cuando el personal comprobó que el aumento de presión había sido una señal espuria. Las temperaturas no subieron por encima de los valores incluidos en los LCO.

*Explicación de la clasificación*

Criterios	Explicación
2. y 3. Consecuencias reales:	No hubo consecuencias reales del suceso.
6.2.1. Consecuencias potenciales máximas:	Las consecuencias potenciales máximas de un suceso relacionado con un reactor de potencia en régimen de parada son los niveles 5 a 7.
-----	

6.2.2. Determinación del número de barreras de seguridad:	<p>La única barrera de seguridad es el enfriamiento del refrigerante del primario a través de la tubería de aspiración de RHR.</p> <p>Una vez más, es necesario tener en cuenta los aspectos tanto físicos como de procedimiento de la barrera de seguridad. Considérense en primer lugar las medidas requeridas para restablecer la refrigeración. El personal de operación debe asegurarse de que la señal de presión era espuria y de que si la subida de la temperatura del refrigerante ha provocado un aumento posterior de la presión, es necesario reducirla. Existía un procedimiento para restablecer el RHR tras el cierre de las válvulas. La operación puede realizarse en el tiempo disponible pero no con mucho margen. Desde el punto de vista del equipo, el fallo de apertura de cualquiera de las válvulas se traducirá en la no disponibilidad de la barrera de seguridad. Además, es evidente que no hay tiempo suficiente para realizar cualquier reparación si las válvulas no se abriesen.</p> <p>Por estos motivos, la barrera sola no se considera una barrera de seguridad muy fiable, aunque era la única barrera prevista en el diseño. La necesidad de poder abrir las dos válvulas de aislamiento para restablecer los suministros limita claramente la fiabilidad de la barrera de seguridad.</p>
6.2.3. Evaluación de la clasificación básica:	Solo hay una sola barrera de seguridad disponible y, por tanto, según el cuadro 11, la clasificación es de nivel 3.
6.2.4. Factores adicionales:	Nivel 3

#### **Ejemplo 46. Pérdida de refrigeración en parada debido a un aumento de presión del refrigerante – Nivel 3**

##### *Descripción del suceso*

El diseño de la planta es el mismo que el del ejemplo 44, pero el suceso ocurrió poco después de la parada, cuando un aumento de la presión del refrigerante hizo que las válvulas de aislamiento se cerrasen. Los elementos de seguridad se ilustran en la figura 2.

Explicación de la clasificación

Criterios	Explicación
2. y 3. Consecuencias reales:	No hubo consecuencias reales del suceso.
6.2.1. Consecuencias potenciales máximas:	Las consecuencias potenciales máximas de un suceso relacionado con un reactor de potencia en régimen de parada son los niveles 5 a 7.
6.2.2. Determinación del número de barreras de seguridad:	Ahora parece que hay dos barreras de seguridad en lo que respecta a los equipos. Sin embargo, ambas dependen todavía de que el personal de operación vuelva a abrir las válvulas. La fiabilidad de los elementos de seguridad está limitada por la necesidad de que actúe el personal de operación. Dada la complejidad de la operación y el limitado tiempo disponible, se considera que solo hay una barrera de seguridad efectiva (es decir, un procedimiento operacional que requiere la reducción de la presión y la reapertura de la válvula de aislamiento).
6.2.3. Evaluación de la clasificación básica:	Según el cuadro 11, el nivel 3 es el apropiado.
Clasificación global:	Nivel 3.

6.4.2. Sucesos en instalaciones distintas de reactores de potencia

Ejemplo 47. Presurización del espacio encima del nivel de líquido en un recipiente de disolución de elementos combustibles – Debajo de la escala / Nivel 0

Descripción del suceso

La detección de una ligera presurización del espacio encima del nivel de líquido en el recipiente de disolución de una instalación de reprocesamiento se tradujo en la parada automática del proceso. Se desconectó el sistema de calefacción del recipiente de disolución y se inyectó agua de refrigeración. Se interrumpió el suministro de ácido nítrico al recipiente y se inhibió la reacción de disolución mediante la adición de agua al contenido del recipiente. No se produjo ninguna emisión de contaminación aérea a la zona de operación de la planta o al entorno.

Investigaciones posteriores indicaron que la presurización se debió a una emisión anormal de vapor y a un aumento del ritmo de producción de vapor nitroso a raíz de un incremento a corto plazo del ritmo de disolución del combustible.

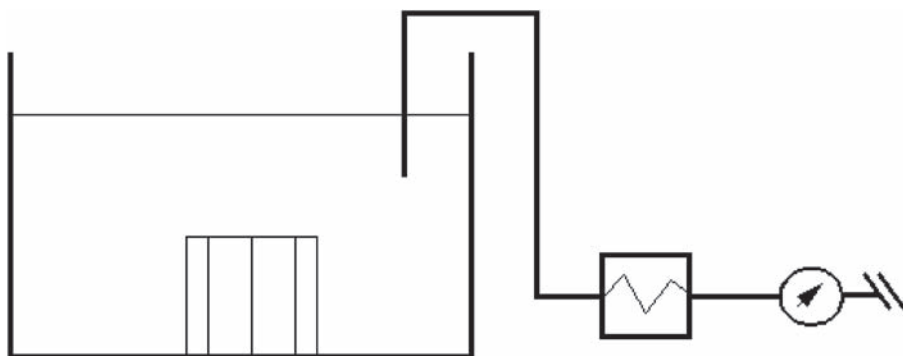
### Explicación de la clasificación

Criterios	Explicación
2. y 3. Consecuencias reales:	No hubo consecuencias reales del suceso.
6.2.1. Consecuencias potenciales máximas:	Las consecuencias potenciales máximas de un suceso asociado a una instalación de reprocesamiento son los niveles 5 a 7.
6.2.2. Determinación del número de barreras de seguridad:	Debido a la desviación en las condiciones de proceso, éste se detuvo automáticamente. Los pasos de parada se sucedieron con normalidad. No falló ninguna barrera de seguridad.
6.2.3. Evaluación de la clasificación básica:	Según el punto 1) de la sección 6.2.3.1, la clasificación es Debajo de la escala / Nivel 0.
6.2.4. Factores adicionales:	No hay motivos para aumentar la clasificación del suceso.
Clasificación global:	Debajo de la escala / Nivel 0.

### **Ejemplo 48. Pérdida de refrigeración en un reactor de investigación pequeño – Debajo de la escala / Nivel 0**

#### *Descripción del suceso*

El suceso tuvo lugar en un reactor de investigación de 100 kW con una gran piscina de refrigeración y un sistema de depuración / intercambio de calor, como se muestra en la figura 3. En caso de pérdida de refrigeración, cualquier calentamiento del agua será extremadamente lento.



*Fig. 3. Diagrama del sistema de refrigeración correspondiente al ejemplo 48*

El suceso se produjo cuando fallaron las tuberías aguas abajo de la bomba y se bombeó refrigerante al fondo de la tubería de aspiración. La bomba falló a continuación por cavitación.

*Explicación de la clasificación*

Criterios	Explicación
2. y 3. Consecuencias reales:	No hubo consecuencias reales del suceso.
6.2.1. Consecuencias potenciales máximas:	Hay que considerar dos funciones de seguridad. Una es la refrigeración del combustible, y la otra es el blindaje para evitar dosis elevadas a los trabajadores. Para ambas funciones de seguridad, debido al reducido inventario, las consecuencias potenciales máximas no pueden rebasar el nivel 4 por lo que el máximo nivel en función de la defensa en profundidad es el nivel 2.
6.2.2. Determinación del número de barreras de seguridad:	<p>Teniendo en cuenta la función de refrigeración, según el diseño existen tres barreras de seguridad. Una es el sistema del intercambiador de calor, otra es el gran volumen de agua en la piscina y la tercera es la capacidad de refrigeración del combustible al aire. El lado de aspiración ha sido diseñado deliberadamente para garantizar que quede un gran volumen de agua en la piscina si fallan las tuberías. Además, es evidente que la barrera de seguridad principal es el volumen de agua. Por consiguiente, ésta puede considerarse una barrera de seguridad de gran integridad por los siguientes motivos:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>— La aportación de calor es pequeña en comparación con el volumen de agua, de manera que cualquier aumento de temperatura será extremadamente lento. Deberían pasar muchos días antes de que el nivel de agua bajase significativamente.</li><li>— Cualquier reducción del nivel de agua sería rápidamente detectada por el personal de operación, y ese nivel podría reponerse de forma sencilla por una serie de vías.</li><li>— La justificación de la seguridad de la instalación considera que esta es la barrera de seguridad clave y demuestra su integridad. La tubería de aspiración que va al intercambiador de calor se diseñó cuidadosamente para garantizar que quedaría una cantidad de agua suficiente.</li></ul>

6.2.3. Evaluación de la clasificación básica:	Se considera que la clasificación básica es cero porque quedan dos barreras de seguridad y una es de gran integridad. Considerando la función de seguridad del blindaje, solo queda una barrera de seguridad, pero es de gran integridad ya que el nivel de agua que quedaba en el fondo de la tubería de aspiración proporcionaba blindaje suficiente.
6.2.4. Factores adicionales:	No hay motivos para aumentar la clasificación del suceso.
Clasificación global:	Debajo de la escala / Nivel 0.

#### **Ejemplo 49. Niveles de radiación elevados en una instalación de reciclaje de combustible nuclear – Debajo de la escala / Nivel 0**

##### *Descripción del suceso*

El personal de operación y un técnico de protección radiológica estaban llevando a cabo una operación de muestreo en una instalación que almacena líquido muy radiactivo. Para realizar la tarea, se facilitaron instrucciones y equipos específicos, y las personas en cuestión habían recibido capacitación e información adecuadas. Para poder proceder con la operación, se excluyó al resto del personal de una gran zona que fue claramente identificada y separada con barreras dispuestas alrededor de la zona de trabajo propiamente dicha.

Durante la operación, un fallo del equipo dio lugar a que una pequeña cantidad de líquido muy radiactivo fuese conducido a una tubería no blindada, lo que generó altos niveles de radiación en las zonas circundantes.

Todo el personal estaba equipado con dosímetros personales con alarma, y cuando éstos se activaron, junto con varios sistemas de detección instalados en la zona, todos la abandonaron inmediatamente.

Una evaluación posterior indicó que la persona más expuesta fue sometida a una tasa de dosis de 350 mSv/h y recibió una dosis efectiva de 350  $\mu$ Sv.

Explicación de la clasificación

Criterios	Explicación
2. y 3. Consecuencias reales:	La operación de muestreo se estaba llevando a cabo en una zona en la que había controles de acceso y elementos de seguridad específicos debido al potencial de alta actividad. Por lo tanto, los criterios de tasa de dosis de nivel 2 aplicables “dentro de una zona de explotación” no proceden (véase la sección 3.2, que define las zonas de explotación como “zonas a las que está permitido el acceso de los trabajadores sin permisos específicos. Excluye las zonas en las que se precisan controles específicos (más que la necesidad general de llevar un dosímetro personal y/o overoles) debido al nivel de contaminación o radiación”).
6.2.1. Consecuencias potenciales máximas:	Las consecuencias potenciales máximas para esta actividad fueron exposiciones superiores a diez veces el límite reglamentario anual (es decir, el nivel 3).
6.2.2. Identificación del número de barreras de seguridad:	<p>Al examinar el número de barreras de seguridad independientes, es necesario analizar por separado las indicaciones (detectores y alarmas) y la respuesta por parte del personal de operación. Había cuatro barreras de seguridad independientes de indicaciones y alarmas. Éstas eran:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>— Dosímetros personales electrónicos. Se confirmó que funcionaban plena y correctamente.</li><li>— Detectores y alarmas de radiación gamma instalados. Funcionaban plenamente y dieron la alarma durante el suceso.</li><li>— Alarmas instaladas de actividad suspendida en el aire. Éstas responden a una radiación gamma elevada, y sus alarmas requieren la evacuación inmediata del personal de la zona.</li><li>— Presencia de un técnico de protección radiológica con un detector de radiación. La labor principal del técnico era monitorizar los niveles de radiación durante la operación de muestreo e informar en consecuencia. Esto no fue necesario puesto que el personal de operación ya estaba abandonando la zona.</li></ul> <p>Cada una de estas barreras hizo que el personal de operación tuviera que responder adecuadamente a la alarma o a las indicaciones verbales. Se confirmó que el personal de operación recibía capacitación con regularidad y que nunca había respondido mal. Había más de una persona y un técnico de protección radiológica más, y en vista de la naturaleza específica de la actividad y de la capacitación y las instrucciones requeridas, se estima que pueden considerarse como al menos tres barreras de seguridad independientes. La probabilidad de que todas las personas hicieran caso omiso de las alarmas es extremadamente pequeña.</p> <p>-----</p>

6.2.3. Evaluación de la clasificación básica:	Según el cuadro 11, y con tres barreras de seguridad, la clasificación básica es de nivel 1.
6.2.4. Factores adicionales:	No hay motivos para aumentar la clasificación del suceso.
Clasificación global:	Debajo de la escala / Nivel 0.

**Ejemplo 50. Un trabajador recibió una dosis acumulada de cuerpo entero superior al límite de dosis – Nivel 1**

*Descripción del suceso*

La dosis de cuerpo entero recibida por el director de una instalación debido a las operaciones a finales de diciembre fue superior a lo autorizado o previsto pero inferior a la restricción de dosis. Por consiguiente, aunque la dosis procedente de esas operaciones fue baja, su dosis acumulada de cuerpo entero sobrepasó el límite de dosis anual.

*Explicación de la clasificación*

Criterios	Explicación
2. y 3. Consecuencias reales:	El nivel de dosis de este suceso real fue inferior al valor dado en la sección 2 para consecuencias reales (es decir, menor que la restricción de dosis).
6.2.1. Consecuencias potenciales máximas:	Las consecuencias potenciales máximas para un suceso relacionado con una dosis a un trabajador se clasifica como nivel 4.
6.2.2. Determinación del número de barreras de seguridad:	La clasificación básica es Debajo de la escala / Nivel 0 ya que no hubo degradación de las barreras de seguridad facilitadas para evitar dosis importantes a los trabajadores.
6.2.3. Evaluación de la clasificación básica:	Según el cuadro 11, la clasificación es Debajo de la escala / Nivel 0.
6.2.4. Factores adicionales:	Puesto que se rebasó el límite de dosis anual acumulada de cuerpo entero, el suceso debe clasificarse como nivel 1 (sección 6.2.4.3).
Clasificación global:	Nivel 1.

**Ejemplo 51. Fallo del control de la criticidad – Nivel 1**

*Descripción del suceso*

Una comprobación rutinaria del cumplimiento de las normas de operación en una instalación de fabricación de combustible reveló que se habían embalado incorrectamente seis muestras de pastillas de combustible. Además del embalaje permitido, cada muestra había sido colocada en un recipiente de plástico. El recipiente de plástico adicional incluía el requisito de que no se podía introducir en el almacén “ningún material hidrogenado aparte del envoltorio permitido”. Sin embargo, este requisito no estaba claramente especificado para este almacén de combustible. Una investigación posterior demostró que el certificado de descargo por criticidad era difícil de interpretar, y la evaluación de la criticidad asociada era inadecuada para entender plenamente los requisitos de seguridad.

*Explicación de la clasificación*

Criterios	Explicación
2. y 3. Consecuencias reales:	No hubo consecuencias reales del suceso.
6.2.1. Consecuencias potenciales máximas:	Las consecuencias potenciales máximas de una situación de criticidad en el almacén de combustible se clasificarían como nivel 4.
6.2.2. Determinación del número de barreras de seguridad:	<p>Las barreras de seguridad restantes relacionadas con las inundaciones eran:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>— varios controles para evitar las inundaciones (tenidas en cuenta en la justificación de la seguridad);</li><li>— justificación de la seguridad de que una inundación no daría lugar a una situación de criticidad.</li></ul> <p>Las barreras de seguridad restantes relacionadas con otros materiales eran:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>— procedimientos, capacitación y etiquetado claros para evitar la adición de material hidrogenado;</li><li>— inspecciones para detectar desviaciones de los supuestos hechos en la justificación de la seguridad.</li></ul>
6.2.3. Evaluación de la clasificación básica:	Siguen en funcionamiento dos barreras de seguridad, y la clasificación básica según el cuadro 11 es el nivel 1.
-----	

6.2.4. Factores adicionales:	<p>El nivel 1 sería también una clasificación apropiada porque:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Las operaciones estaban fuera de los LCO.</li> <li>— La cultura de seguridad no garantizó la disponibilidad de evaluaciones y documentación adecuados.</li> </ul> <p>No se considera apropiado aumentar la clasificación del suceso al máximo nivel en función de la defensa en profundidad porque aún debían darse varios fallos antes de que se produjese un accidente (véase el punto (3) de la sección 6.2.4).</p>
Clasificación global:	Nivel 1.

## **Ejemplo 52. Pérdida prolongada de ventilación en una instalación de fabricación de combustible – Nivel 1**

### *Descripción del suceso*

Tras una pérdida de la ventilación normal y de emergencia y un incumplimiento de los procedimientos, el personal de operación trabajó durante una hora sin contención dinámica.

La ventilación realiza una doble función. En primer lugar, conduce la radiactividad que pudiera liberarse en una sala cerrada hasta los circuitos de emisión y filtración controladas, y en segundo lugar, crea un gradiente de presión ligeramente negativo en esa sala cerrada para evitar la transferencia de radiactividad a otras zonas. Esta forma de contención se denomina “contención dinámica”.

El suceso comenzó con la pérdida del suministro eléctrico al sistema de ventilación normal. El sistema de ventilación de emergencia, que debería haberlo sustituido, no se puso en marcha. Una investigación posterior indicó que la avería del sistema de ventilación normal y la incapacidad del sistema de ventilación de emergencia para entrar en funcionamiento estaban relacionadas con la presencia de un modo común entre las alimentaciones eléctricas a estos sistemas de ventilación. La alarma apareció en el puesto de guardia, pero la información no llegó ni al personal supervisor ni al personal de operación.

El personal de operación solo fue informado de que la alarma se había activado una hora después de que comenzara el nuevo turno.

Los resultados de las mediciones de contaminación atmosférica realizadas en todas las estaciones de trabajo que se monitorizaban no mostraron indicio alguno de un aumento de la contaminación atmosférica.

## Explicación de la clasificación

Criterios	Explicación
2. y 3. Consecuencias reales:	No hubo consecuencias reales del suceso.
6.2.1. Consecuencias potenciales máximas:	El sistema de ventilación está diseñado para posibilitar la circulación del aire en cascada desde zonas de baja contaminación hasta zonas de contaminación sucesivamente mayor o potencialmente mayor. Si hubiese tenido lugar un suceso al mismo tiempo (como un incendio) que hubiese dado lugar a una presurización, una cierta cantidad de radiactividad, que de otro modo se hubiese descargado a través de un sistema de filtración, se hubiese descargado a la zona de explotación de la planta y luego a la atmósfera sin el mismo grado de filtración. La consecuencia potencial máxima sería de nivel 4 según la liberación potencial a la atmósfera.
6.2.2. Determinación del número de barreras de seguridad:	Los elementos de seguridad independientes restantes, sin incluir los procedimientos de emergencia finales, eran: — Los sistemas automáticos de lucha contra incendios; — La estructura del edificio que proporcionaba tanto contención como descontaminación para reducir las exposiciones a menos de 0,1 mSv.
6.2.3. Evaluación de la clasificación básica:	Había al menos dos barreras de seguridad efectivas, y la clasificación básica según el cuadro 11 es el nivel 1.
6.2.4. Factores adicionales:	Aunque se infringieron los procedimientos (el trabajo prosiguió sin ventilación) y había problemas de causa común en los suministros eléctricos, no se considera apropiado aumentar la clasificación del suceso al máximo en función de la defensa en profundidad porque aún debían darse varios fallos (incendio, fallo de los sistemas de lucha contra incendios, problemas con la contención) antes de que se produjera un accidente (véase el punto 3) de la sección 6.2.4).
Clasificación global:	Nivel 1.

### Ejemplo 53. Fallo del sistema de enclavamiento de una puerta blindada – Nivel 2

#### Descripción del suceso

El suceso se produjo cuando se introdujo un contenedor de residuos vitrificados muy radiactivos en una celda mientras las puertas blindadas de la misma estaban abiertas tras una operación de mantenimiento. La apertura de las

puertas estaba controlada por un sistema de intercambio de llaves, enclavamientos instalados basados en detectores gamma y controladores lógicos programables. El diseño original del sistema de acceso a la celda fue modificado dos veces durante el período de puesta en servicio con el fin de mejorarlo. Todos estos sistemas fueron incapaces de evitar la transferencia de material muy radiactivo al interior de la celda mientras las puertas de la misma estaban abiertas.

La entrada de personal a esta zona está controlada por un permiso que requiere que cada persona lleve un dosímetro personal con alarma.

El personal que pudiera haberse encontrado presente en la celda o en zonas colindantes podría haber sufrido una grave exposición a la radiación si no hubiesen respondido o bien al movimiento del contenedor o bien a la activación de sus dosímetros personales con alarma. Durante el suceso, el personal de operación se dio cuenta rápidamente del problema y cerró las puertas blindadas. Nadie sufrió una exposición adicional.

El diseño de la instalación en cuanto al acceso a las celdas había sido modificado durante la puesta en servicio y las consecuencias derivadas de estos cambios no habían sido estudiadas con detenimiento.

En particular:

- La puesta en servicio del sistema de intercambio de llaves de enclavamiento para las puertas blindadas de la celda no había indicado que el sistema era inadecuado.
- Un sistema de control de lógica programable no había sido programado ni puesto en servicio correctamente.
- Las modificaciones se evaluaron y controlaron mal porque su importancia para la seguridad no se había clasificado correctamente.
- No hubo una comunicación adecuada entre los diseñadores y el personal de puesta en servicio.

La autorización para realizar trabajos había sido cerrada, lo que indicaba que la instalación había vuelto a su estado normal, pero en realidad no era así.

El sistema de propuesta de modificación temporal de la planta (TPMP) se utilizaba con demasiada frecuencia en esta instalación y estaba mal controlado, y todo el sistema PMP (propuesta de modificación de la planta) en uso requería mejoras.

La capacitación sobre las entradas a las celdas activas y su supervisión no eran adecuadas.

### *Explicación de la clasificación*

Criterios	Explicación
2. y 3. Consecuencias reales:	No hubo consecuencias reales del suceso.
6.2.1. Consecuencias potenciales máximas:	Las consecuencias potenciales máximas de estas prácticas se consideran de nivel 4 (dosis de radiación mortal).
6.2.2. Determinación del número de barreras de seguridad:	A pesar del fallo de una serie de barreras de seguridad, quedó una, concretamente el procedimiento de autorización para realizar trabajos para la entrada a celdas, que requería el uso de dosímetros personales de alarma.
6.2.3. Evaluación de la clasificación básica:	Según el cuadro 11, la clasificación máxima en función de la defensa en profundidad de nivel 2 es apropiada.
6.2.4. Factores adicionales:	La clasificación no se puede incrementar por encima de la clasificación en función de la defensa en profundidad.
Clasificación global:	Nivel 2.

### **Ejemplo 54. Transitorio de potencia en un reactor de investigación durante la carga de combustible – Nivel 2**

#### *Descripción del suceso*

Se produjo un transitorio de potencia en un reactor de investigación durante una operación de recarga, que se tradujo en un disparo del reactor por sobrepotencia. El reactor es un reactor de investigación de tipo piscina de pequeñas dimensiones. Tras la sustitución de un conjunto de control de barras de seguridad de compensación, los conjuntos combustibles se estaban volviendo a introducir en el núcleo. Después de cargar el quinto conjunto combustible, se sacaron las barras de seguridad de compensación para comprobar que el reactor no estaba en estado crítico. Las barras se llevaron entonces a la posición extraída al 85% en vez de al 40% requerida (posición de salvaguardia). Durante la inserción del sexto conjunto combustible, se observó un resplandor azul y el reactor se disparó por sobrepotencia. Se había hecho una derivación en el sistema de disparo por flujo neutrónico para evitar disparos espurios mientras se colocaba el combustible irradiado para cargarlo en el núcleo y esa derivación no se había eliminado. Se estimó que la potencia transitoria máxima fue de aproximadamente el 300% de la plena potencia. Los procedimientos relativos a la recarga están siendo examinados y revisados.

*Explicación de la clasificación*

Criterios	Explicación
2. y 3. Consecuencias reales:	No hubo consecuencias reales del suceso.
6.2.1. Consecuencias potenciales máximas:	Se ha demostrado que la clasificación potencial máxima para este reactor no rebasaría el nivel 4.
6.2.2. Determinación del número de barreras de seguridad:	La barrera que evitó una emisión importante fue el disparo por sobrepotencia. Los detalles sobre esa protección no se han facilitado, pero a menos que pueda demostrarse que dos o más trenes de protección redundantes permanecen en funcionamiento bajo las condiciones de operación imperantes, debe suponerse que solo había una barrera de seguridad que evitaba una emisión importante.
6.2.3. Evaluación de la clasificación básica:	La clasificación según el cuadro 11 corresponde al nivel 2.
6.2.4. Factores adicionales:	La clasificación no puede aumentarse por encima de la clasificación en función de la defensa en profundidad.
Clasificación global:	Nivel 2.

**Ejemplo 55. Cuasi criticidad en una instalación de reciclaje de combustible nuclear – Nivel 2**

*Descripción del suceso*

En una instalación de reciclaje de plutonio, se produjo una fuga en una tubería que transportaba nitrato de plutonio caliente y, durante un período de unas 24 h, se fugó un total de 31 kg a la celda que alojaba la tubería. La fuga fue identificada durante la inspección visual diaria. El nitrato de plutonio caliente se derramó por encima de las superficies exteriores de un evaporador de plutonio caliente y goteó sobre el suelo inclinado recubierto de acero inoxidable que se encontraba debajo. El líquido se evaporaba a medida que se deslizaba sobre las diversas superficies y el plutonio se depositó en forma cristalina sobre la parte inferior de la tubería y en el suelo que estaba debajo, formando estructuras de tipo estalactita y estalagmita. El ritmo de fuga fue tal que el material no llegó al sumidero de detección como líquido, y solo se identificó a través de las rondas de vigilancia. Posteriormente, la celda fue descontaminada, la tubería y el evaporador fueron cambiados, y la instalación se volvió a poner en servicio.

La cantidad de plutonio presente tanto en la tubería como en el suelo no superó la masa crítica mínima para la concentración de material que estaba

manipulándose en ese momento, pero si el suceso hubiese tenido lugar cuando se manipulaba material más concentrado, entonces quizás se hubiese sobrepasado la masa crítica.

*Explicación de la clasificación*

Es necesario examinar este suceso en dos partes: En primer lugar, con respecto a emisiones de la instalación, y en segundo lugar, con respecto a las dosis a los trabajadores.

**Posible emisión desde la instalación:**

Criterios	Explicación
2. y 3. Consecuencias reales:	No hubo consecuencias reales del suceso.
6.2.1. Consecuencias potenciales máximas:	La dispersión de todo el material acumulado en la celda podría haber dado lugar a una emisión en el medio ambiente equivalente al nivel 5.
6.2.2. Determinación del número de barreras de seguridad:	Hay al menos dos barreras de seguridad disponibles para evitar tal emisión: — La estructura de hormigón de la celda que contenía el plutonio, que no hubiese fallado por la energía que se hubiese generado si el material hubiese entrado en estado crítico; y — La estructura restante del edificio, junto con el sistema de reducción de la contaminación por ventilación, que consta de sistemas de ventilación principal y secundario.
6.2.3. Evaluación de la clasificación básica:	Según el cuadro 11, resulta apropiada una clasificación básica de nivel 2.
6.2.4. Factores adicionales:	No existen factores adicionales que justifiquen un aumento de la clasificación básica.
Clasificación global:	Nivel 2.

**Posibles dosis a los trabajadores:**

Criterios	Explicación
2. y 3. Consecuencias reales:	No hubo consecuencias reales del suceso.
6.2.1. Consecuencias potenciales máximas:	Las consecuencias potenciales máximas se considerarían de nivel 4 (exposición a radiación mortal).
6.2.2. Determinación del número de barreras de seguridad:	No quedaban barreras de seguridad para proteger contra la criticidad.
6.2.3. Evaluación de la clasificación básica:	Según el cuadro 11, la clasificación es de nivel 2.
6.2.4. Factores adicionales:	La clasificación no puede aumentarse por encima de la clasificación en función de la defensa en profundidad.
Clasificación global:	Nivel 2.

## **7. PROCEDIMIENTO DE CLASIFICACIÓN**

Los diagramas de flujo presentados en las páginas siguientes (figuras 4 a 10) describen brevemente el procedimiento INES para clasificar cualquier suceso asociado con las fuentes de radiación y el transporte, almacenamiento y uso de material radiactivo.

Los diagramas de flujo pretenden mostrar la vía lógica que se debe seguir para evaluar la importancia de cualquier suceso para la seguridad. Proporcionan una perspectiva general a quienes carecen de experiencia en la clasificación de sucesos y un resumen del procedimiento para quienes están familiarizados con el Manual del usuario de la INES. Se añaden notas explicativas y cuadros a los diagramas de flujo según se ha considerado necesario; sin embargo, dichos diagramas no deben usarse sin remitirse a las orientaciones detalladas que se incluyen en el presente manual. El OIEA ha desarrollado también un instrumento en la web, basado en los diagramas de flujo, para dar apoyo a la capacitación en el uso de la metodología de clasificación según la escala INES.

Además de los diagramas de flujo, se incluyen dos cuadros de ejemplos (cuadros 12 y 13) para ilustrar cómo se han clasificado algunos sucesos reales.

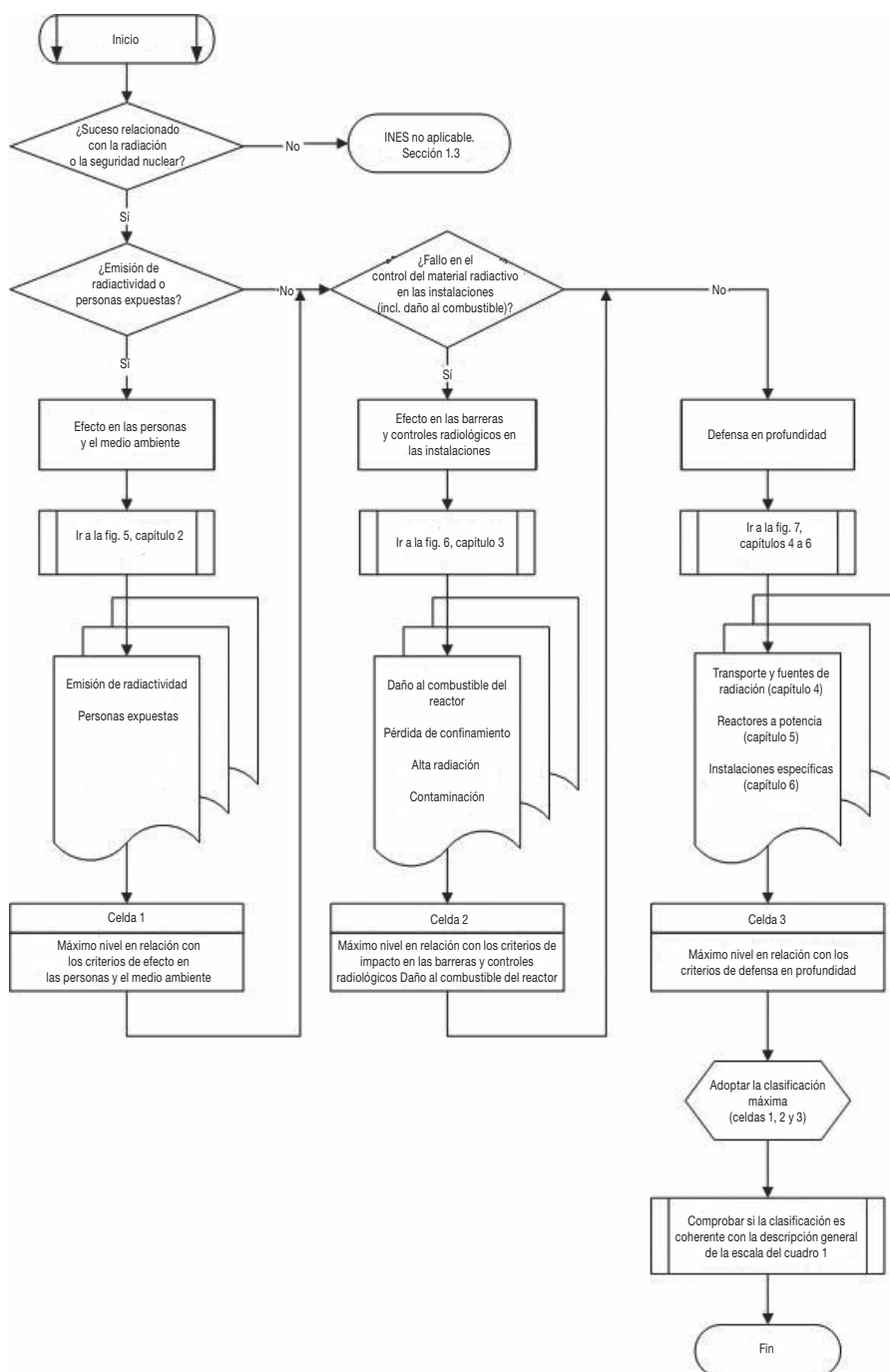
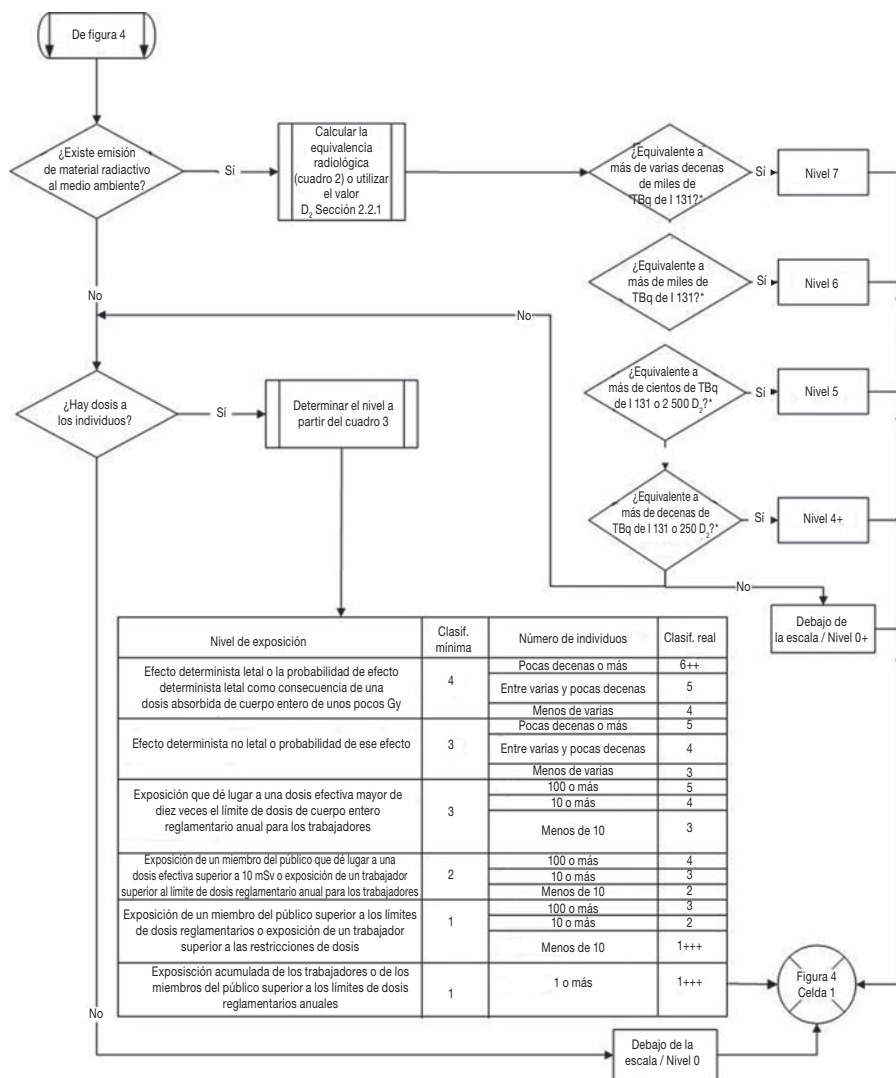


Fig. 4. Procedimiento general para la clasificación según la escala INES



- Estos criterios se refieren a accidentes en los que las primeras estimaciones de la magnitud de las emisiones solo pueden ser aproximadas. Es por ello inadecuado usar valores numéricos precisos para la definición de los niveles. Sin embargo, para ayudar a garantizar una interpretación coherente de estos criterios a escala internacional, se sugiere que los límites entre los niveles sean de 5 000 y 50 000 TBq aproximadamente de I 131.
- + Se debe también considerar si es apropiada una clasificación superior basada en la estimación de las dosis a las personas dentro de la instalación utilizando el cuadro 3.
- ++ El nivel 6 no se considera creíble para ningún suceso relacionado con fuentes de radiación.
- +++ Como se dijo en la sección 2.4, las definiciones del nivel 1 están basadas en los criterios de la defensa en profundidad presentados en los capítulos 4 a 6, pero se incluyen aquí por razones de exhaustividad.

Fig. 5. Procedimiento para clasificar el efecto en las personas y el medio ambiente.

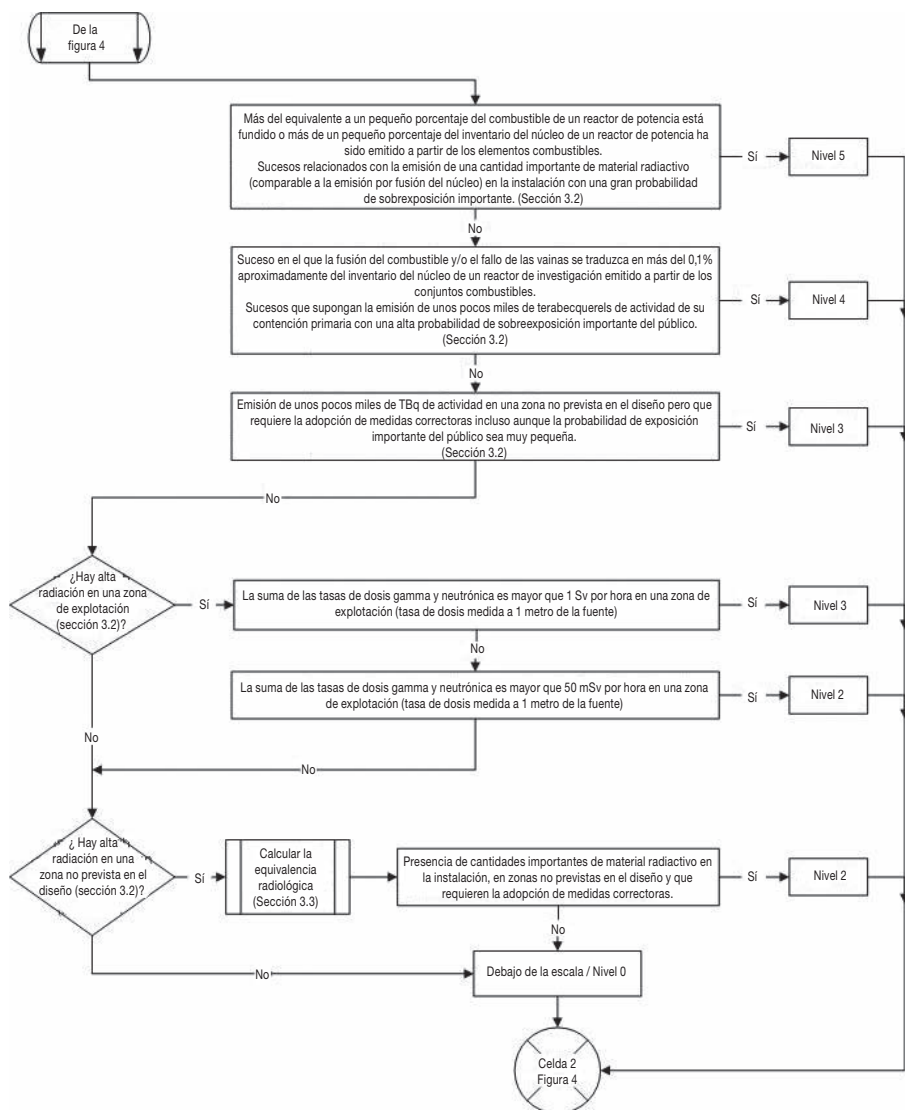


Fig. 6. Procedimiento para clasificar el efecto en las barreras y controles radiológicos de las instalaciones.

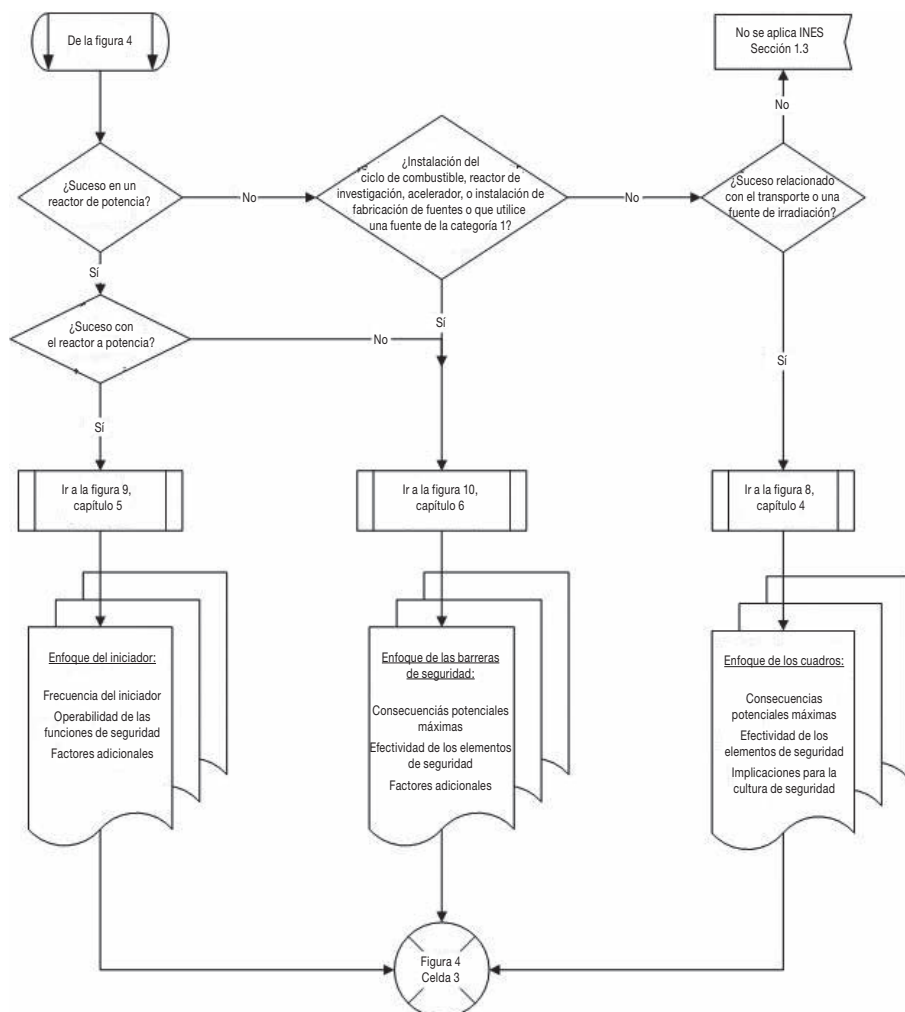
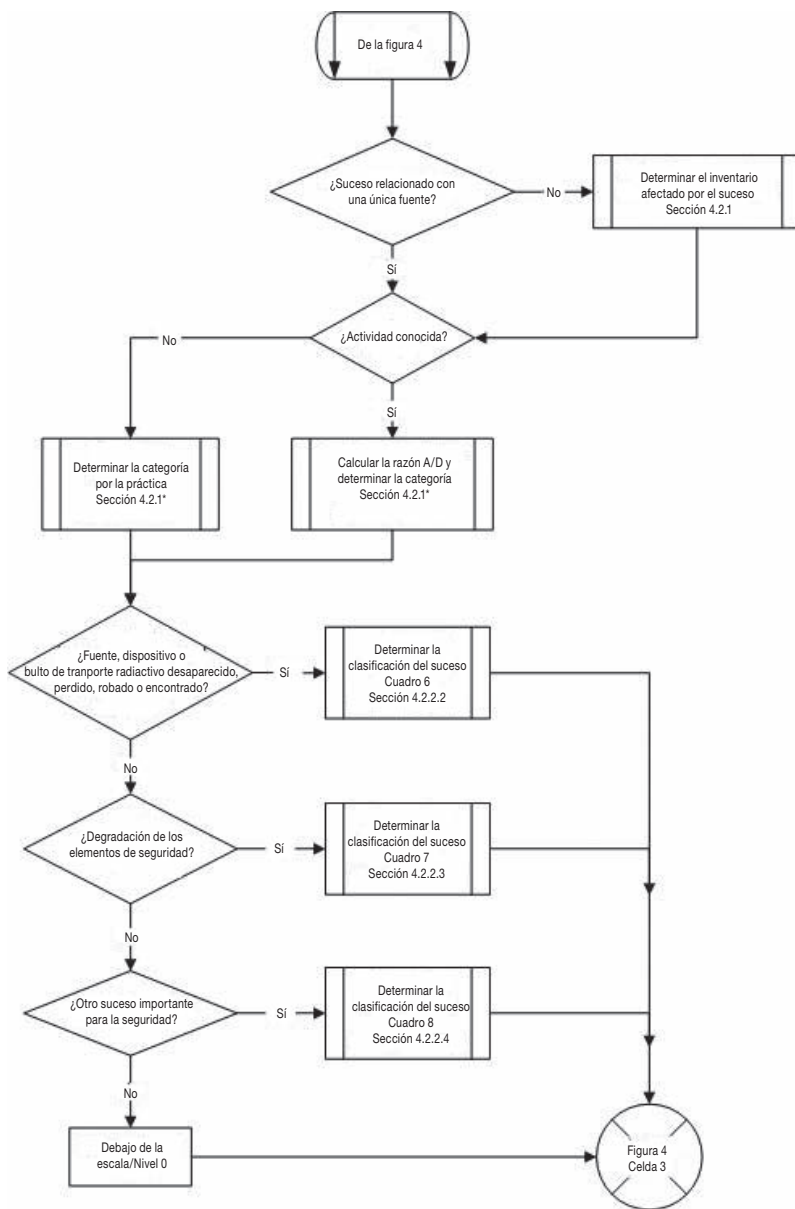
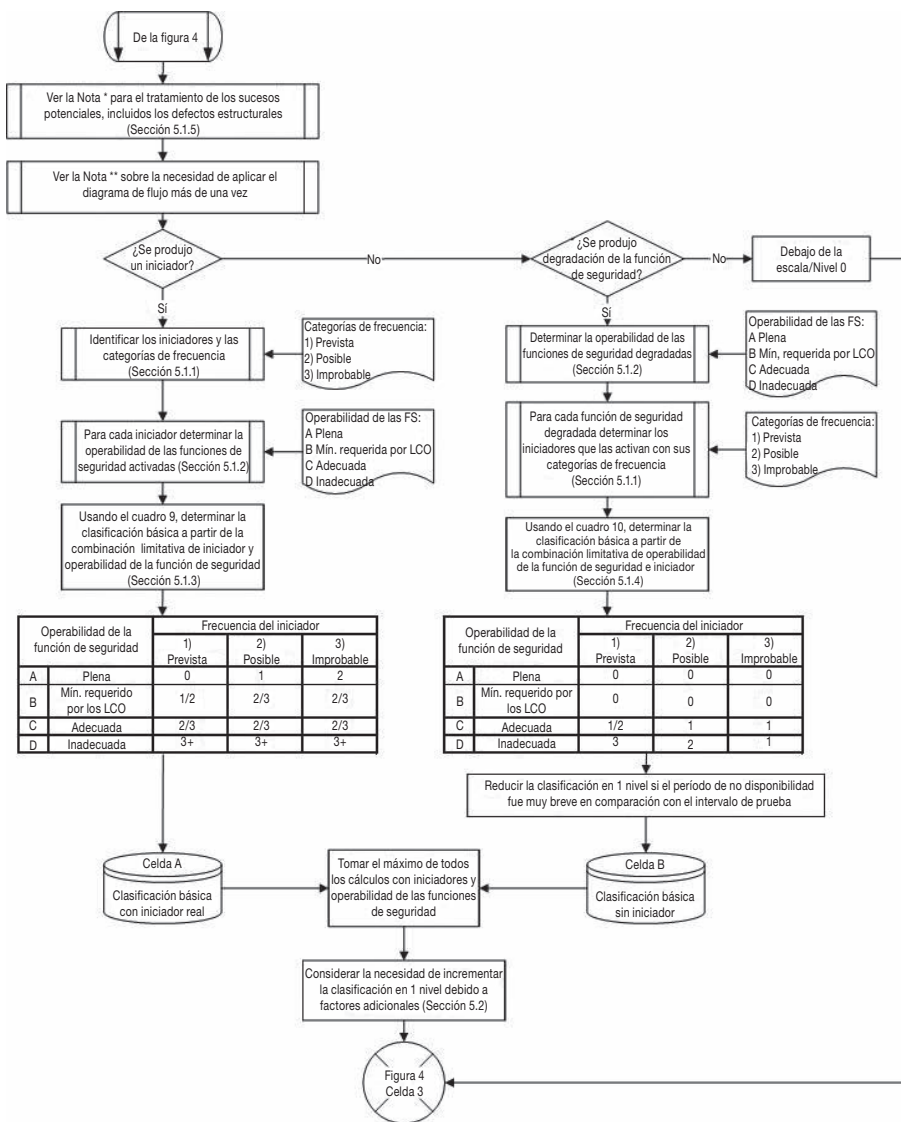


Fig. 7. Procedimiento general para clasificar el efecto en la defensa en profundidad.



\* Véanse también los Apéndices III y IV

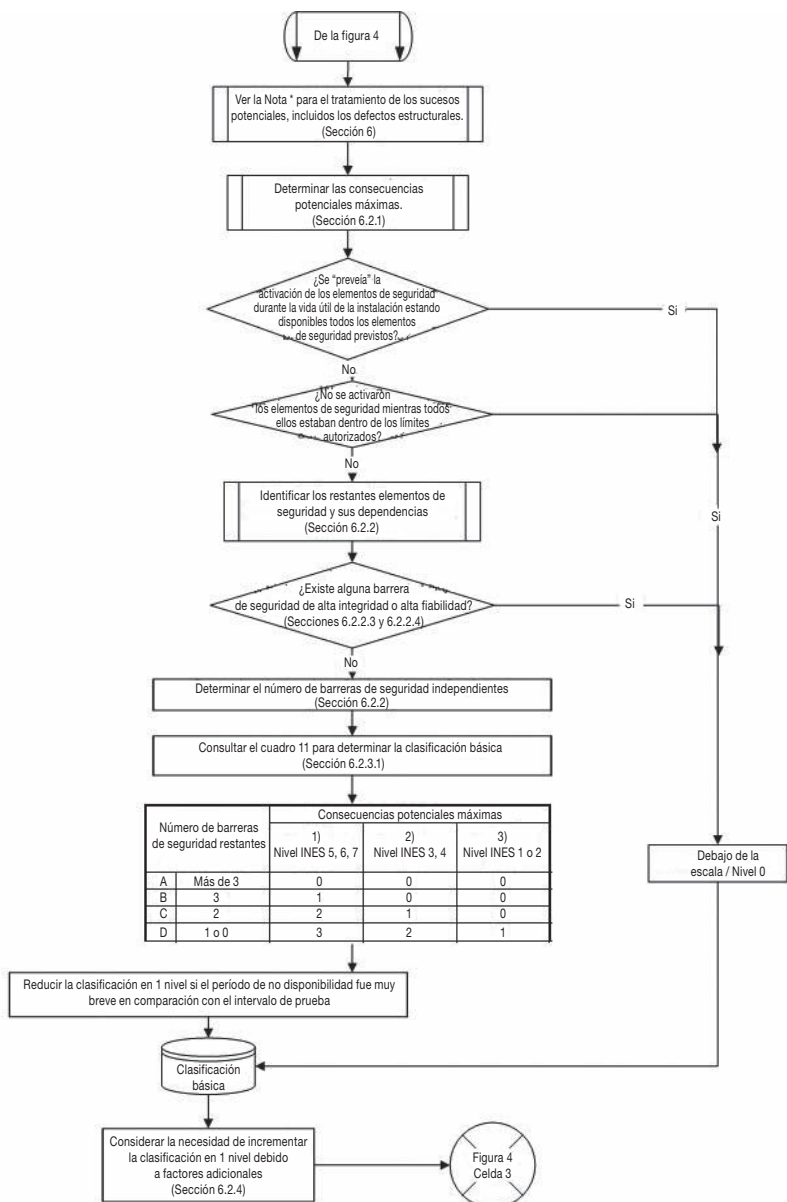
*Fig. 8. Procedimiento para clasificar el efecto en la defensa en profundidad para sucesos relacionados con el transporte y las fuentes de radiación.*



\* En el caso de un suceso potencial, supóngase que dicho suceso potencial ha ocurrido realmente y determinese la clasificación del mismo utilizando este diagrama de flujo. A continuación redúzcase la clasificación en función de la probabilidad de que se hubiera producido el suceso potencial. Ver sección 5.1.5

\*\* Los sucesos pueden provenir de una combinación de iniciadores y de la degradación de las funciones de seguridad. Por consiguiente, puede ser necesario seguir este diagrama de flujo varias veces para identificar qué pareja de iniciador y función de seguridad da la máxima clasificación. Ver sección 5.1.

**Fig. 9. Procedimiento para clasificar el efecto en la defensa en profundidad en reactores a potencia.**



\* En el caso de un suceso potencial, supóngase que dicho suceso potencial ha ocurrido realmente y determinese la clasificación del mismo utilizando este diagrama de flujo. A continuación redúzcase la clasificación en función de la probabilidad de que se hubiera producido el fallo. Ver sección 6.2.3.2

Fig. 10. Procedimiento para clasificar el efecto en la defensa en profundidad en instalaciones del ciclo de combustible, reactores de investigación, aceleradores, o instalaciones con fuentes de la Categoría 1, y reactores que no están a potencia.

CUADRO 12. EJEMPLOS ILUSTRATIVOS DE LOS CRITERIOS DE LA ESCALAS PARA CLASIFICAR SUCESOS EN INSTALACIONES NUCLEARES

	Personas y medio ambiente	Barreras y controles radiológicos	Defensa en profundidad
Accidente grave Nivel 7	Chernóbil, 1986 – Efectos generalizados en la salud y el medio ambiente. Emisión externa de una fracción considerable del inventario del núcleo del reactor.		
Accidente importante Nivel 6	Kyshtym (Rusia) 1957 – Emisión considerable de materiales radiactivos en el medio ambiente provocada por la explosión de un tanque de desechos de alta actividad.		
Accidente con consecuencias de mayor alcance Nivel 5	Windscale Pile (Reino Unido) 1957 – Emisión de materiales radiactivos al medio ambiente a raíz de un incendio en un núcleo de reactor.	Three Mile Island (EE.UU.) 1979 – Daños graves en el núcleo del reactor.	
Accidente con consecuencias de alcance local Nivel 4	Tokaimura (Japón) 1999 – Exposición mortal de trabajadores como consecuencia de un suceso de criticidad en una instalación nuclear.	Saint Laurent des Eaux (Francia) 1980 – Fusión de un canal de combustible en el reactor, sin emisión fuera del emplazamiento.	
Incidente importante Nivel 3	No se conocen ejemplos	Sellafield (Reino Unido) 2005 – Emisión de grandes cantidades de materiales radiactivos contenida dentro de la instalación.	Vandellós (España) 1989 – Cuasi accidente provocado por un incendio que destruyó los sistemas de seguridad de la central nuclear.
Incidente Nivel 2	Atucha (Argentina) 2005 – Sobreexposición de un trabajador en un reactor de potencia, por encima del límite anual.	Cadarache (Francia) 1993 – Dispersión de la contaminación a una zona no prevista en el diseño.	Forsmark (Suecia) 2006 – Degradación de las funciones de seguridad con factores adicionales por fallo de causa común en el sistema de suministro eléctrico de emergencia de una central nuclear.
Anomalia Nivel 1			Infracción de los límites operacionales en una instalación nuclear.

CUADRO 13. EJEMPLOS ILUSTRATIVOS DE LA CLASIFICACIÓN INES DE SUCESOS RELACIONADOS CON FUENTES DE RADIACIÓN Y EL TRANSPORTE

	Personas y medio ambiente	Defensa en profundidad
Accidente grave Nivel 7		
Accidente importante Nivel 6		
Accidente con consecuencias de mayor alcance Nivel 5	Goiania (Brasil) 1987 – Cuatro personas murieron y seis recibieron dosis de unos pocos Gy emitidas por una fuente de Cs 137 de alta actividad abandonada y rota.	
Accidente con consecuencias de alcance local Nivel 4	Fleurus (Bélgica) 2006 – Graves efectos en la salud de un trabajador en una instalación comercial de irradiación como resultado de la exposición a dosis altas de radiación.	
Incidente importante Nivel 3	Yanango (Peru) 1999 – Incidente con una fuente de radiografía que provocó graves quemaduras por radiación.	Ikiteili (Turquía) 1999 – Pérdida de una fuente de Co 60 muy radiactiva.
Incidente Nivel 2	Estados Unidos, 2005 – Sobreexposición de un radiógrafo al superar el límite anual establecido para los trabajadores expuestos a radiación.	Francia, 1995 – Fallo de los sistemas de control de acceso en una instalación de acelerador.
Anomalia Nivel 1		Robo de un medidor de humedad/densidad.



## Apéndice I

### CÁLCULO DE LA EQUIVALENCIA RADIOLÓGICA

#### I.1. INTRODUCCIÓN

Este apéndice muestra los cálculos de factores multiplicadores que pueden aplicarse a la actividad emitida de un radionucleido específico para obtener una actividad que puede compararse con las facilitadas para el  $^{131}\text{I}$ . Para este análisis los valores de los coeficientes de inhalación se han tomado de las NBS [14], mientras que los factores de dosis para la deposición en el suelo se han tomado del documento IAEA-TECDOC-1162 [15]. Aunque ambas publicaciones se están actualizando, es poco probable que dichas actualizaciones tengan un gran impacto en los números de equivalencia radiológica que se dan en el cuadro 14.

Aunque en otras partes de este manual se utilizan los valores D para comparar la importancia relativa de diferentes isótopos, en este apéndice se usa otro enfoque. La razón es que los cálculos del valor D se basan específicamente en escenarios que son solo adecuados para la manipulación y el transporte de fuentes radiactivas. Los factores de equivalencia radiológica que se calculan aquí utilizan hipótesis basadas en escenarios que son más apropiados para accidentes en las instalaciones.

#### I.2. MÉTODO

Los escenarios y la metodología se resumen a continuación.

Para las emisiones de actividad suspendida en el aire se añadieron los siguientes dos componentes:

- dosis efectiva a los miembros adultos del público,  $D_{\text{inh}}$ , por inhalación de la concentración suspendida en el aire unitaria [14] con un ritmo de respiración de  $3,3 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ; y
- dosis efectiva a los adultos por la deposición en el suelo de radionucleidos, integrada a lo largo de 50 años, incluida la consideración de la resuspensión, la meteorización y la rugosidad del terreno [15]. La deposición en el suelo se relaciona con la concentración suspendida en el aire utilizando unas velocidades de deposición ( $V_g$ ) de  $10^{-2} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  para el yodo elemental y  $1,5 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  para otros materiales. Se utiliza la dosis integrada a lo largo de 50 años por la deposición unitaria en el suelo de cada radionucleido ( $D_{\text{gnd}}$  (Sv por  $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$ )).

Las dosis por ingestión no se incluyen en este cálculo ya que los niveles de intervención relativos a los alimentos impedirán que las personas afectadas por el accidente reciban dosis significativas.

La dosis total ( $D_{\text{tot}}$ ) resultante de una emisión de actividad  $Q$  y una concentración  $X$  de radionucleidos suspendidos en el aire a nivel del suelo integrada en el tiempo ( $\text{Bq} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-3}$  por Bq emitido) es:

$$D_{\text{tot}} = Q \cdot X \cdot (D_{\text{inh}} \cdot \text{ritmo de respiración} + V_g \cdot D_{\text{gnd}})$$

La equivalencia radiológica relativa con respecto al  $^{131}\text{I}$  se calculó para cada radionucleido como la relación  $D_{\text{tot}}/(Q \cdot X)$ .

La contaminación de la instalación solo considera la vía de la inhalación y los coeficientes de inhalación se refieren a los trabajadores.

### I.3. DATOS BÁSICOS

Los coeficientes de inhalación para los cálculos se tomaron de los NBS [14] excepto en el caso del  $U_{\text{nat}}$ , que no figura en dicho documento. Los valores para el  $U_{\text{nat}}$  se calcularon sumando las contribuciones del  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$  y de sus principales productos de decaimiento, empleando las proporciones siguientes:  $^{234}\text{U}$  (48,9%),  $^{235}\text{U}$  (2,2%) y  $^{238}\text{U}$  (48,9%). Cuando un radionucleido tiene un número de ritmos de absorción por los pulmones, se utiliza el valor máximo del coeficiente de inhalación excepto en el caso del uranio, para el que se proporcionan todos.

Las dosis integradas a lo largo de 50 años por la deposición en el suelo se tomaron del documento IAEA-TECDOC-1162 [15].

### I.4. RESULTADOS

Los factores multiplicadores aplicables tanto a la contaminación de la instalación como a las emisiones a la atmósfera se obtienen dividiendo el valor para cada radionucleido por el correspondiente al  $^{131}\text{I}$ . Figuran en los cuadros 14 y 15. El cuadro 16 da los resultados en la forma que deberían ser utilizados en INES (es decir, redondeados a una cifra significativa).

CUADRO 14. FACTORES CORRESPONDIENTES A LA CONTAMINACIÓN DE LA INSTALACIÓN (SOLO INHALACIÓN)

Nucleido	Coefficiente de inhalación Sv por Bq [14] (trabajadores)	Relación con el <sup>131</sup> I
Am 241	2,70E-05	2 454,5
Co 60	1,70E-08	1,5
Cs 134	9,60E-09	0,9
Cs 137	6,70E-09	0,6
H 3	1,80E-11	0,002
I 131	1,10E-08	1,0
Ir 192	4,90E-09	0,4
Mn 54	1,20E-09	0,1
Mo 99	5,60E-10	0,05
P 32	2,90E-09	0,3
Pu 239	3,2E-05	2 909,1
Ru 106	3,50E-08	3,2
Sr 90	7,70E-08	7,0
Te 132	3,00E-09	0,3
U 235(S) <sup>a</sup>	6,10E-06	554,5
U 235(M) <sup>a</sup>	1,80E-06	163,6
U 235(F) <sup>a</sup>	6,00E-07	54,5
U 238 (S) <sup>a</sup>	5,70E-06	518,2
U 238(M) <sup>a</sup>	1,60E-06	145,5
U 238 (F)	5,80E-07	52,7
U <sub>nat</sub>	6,25E-06	567,9

<sup>a</sup> Tipos de absorción por los pulmones: S — lento, M — medio, F — rápido. En caso de duda utilizar el valor más conservador.

CUADRO 15. EMISIÓN A LA ATMÓSFERA: DOSIS POR LA DEPOSICIÓN EN EL SUELO E INHALACIÓN

	Factor de dosis para la dosis de 50 años por la deposición en el suelo [15]	Dosis de 50 años por la deposición en el suelo	Factor de dosis para inhalación [14] (público)	Dosis por inhalación	Dosis total	Relación con el <sup>131</sup> I
Nucleido	Sv por Bq·m <sup>-2</sup>	Sv por Bq·s·m <sup>-3</sup>	Sv por Bq	Sv por Bq·s·m <sup>-3</sup>	Sv por Bq·s·m <sup>-3</sup>	
Am 241	6,40E-06	1,01E-08	9,60E-05	3,17E-08	4,17E-08	8 100
Co 60	1,70E-07	2,55E-10	3,10E-08	1,02E-11	2,65E-10	51
Cs 134	5,10E-09	7,65E-11	2,00E-08	6,60E-12	1,43E-11	2,8
Cs 137	1,30E-07	1,95E-10	3,90E-08	1,29E-11	2,08E-10	40
H 3	0,00E+00	0,00E+00	2,60E-10	8,58E-14	8,58E-14	0,020
I 131	2,70E-10	2,70E-12	7,40E-09	2,44E-12	5,14E-12	1,0
Ir 192	4,40E-09	6,60E-09	6,60E-09	2,18E-12	8,78E-12	1,7
Mn 54	1,40E-08	2,10E-11	1,50E-09	4,95E-13	2,15E-11	4,2
Mo 99	6,10E-11	9,15E-14	9,90E-10	3,27E-13	4,18E-13	0,08
P 32	6,80E-12	1,02E-14	3,40E-09	1,12E-12	1,13E-12	0,22
Pu 239	8,50E-06	1,28E-08	1,20E-04	3,96E-08	5,24E-08	10 000
Ru 106	4,80E-09	7,20E-12	6,60E-08	2,18E-11	2,90E-11	5,6
Sr 90	2,10E-08	3,15E-11	1,60E-07	5,28E-11	8,43E-11	16
Te 132	6,90E-10	1,04E-12	2,00E-09	6,60E-13	1,70E-12	0,33
U 235(S) <sup>a</sup>	1,50E-06	2,25E-09	8,50E-06	2,81E-09	5,06E-09	980
U 235(M) <sup>a</sup>	1,50E-06	2,25E-09	3,10E-06	1,02E-09	3,27E-09	640
U 235(F) <sup>a</sup>	1,50E-06	2,25E-09	5,20E-07	1,72E-10	2,42E-09	470
U 238(S) <sup>a</sup>	1,40E-06	2,10E-09	8,00E-06	2,64E-09	4,74E-09	920
U 238(M) <sup>a</sup>	1,40E-06	2,10E-09	2,90E-06	9,57E-10	3,06E-09	590
U 238(F)	1,40E-06	2,10E-09	5,00E-07	1,65E-10	2,27E-09	440
U <sub>nat</sub>	1,80E-06	2,70E-09	1,04E-05	3,42E-09	6,12E-09	1 200
Gases nobles						Despreciable (efectivamente 0)

<sup>a</sup> Tipos de absorción por los pulmones: S — lento, M — medio, F — rápido. En caso de duda utilizar el valor más conservador.

CUADRO 16. EQUIVALENCIAS RADIOLÓGICAS

Nucleido	Factores multiplicadores <sup>a</sup>	
	Contaminación de la instalación	Emisión a la atmósfera
Am 241	2 000	8 000
Co 60	2	50
Cs 134	0,9	3
Cs 137	0,6	40
H 3	0,002	0,02
I 131	1	1
Ir 192	0,4	2
Mn 54	0,1	4
Mo 99	0,05	0,08
P 32	0,3	0,2
Pu 239	3 000	10 000
Ru 106	3	6
Sr 90	7	20
Te 132	0,3	0,3
U 235(S) <sup>b</sup>	600	1 000
U 235(M) <sup>b</sup>	200	600
U 235(F) <sup>b</sup>	50	500
U 238 (S) <sup>b</sup>	500	900
U 238(M) <sup>b</sup>	100	600
U 238 (F) <sup>b</sup>	50	400
U <sub>nat</sub>	600	1 000

<sup>a</sup> Los factores multiplicadores están redondeados a una cifra significativa.

<sup>b</sup> Tipos de absorción por los pulmones: S - lento, M - medio, F - rápido. En caso de duda utilizar el valor más conservador.

## Apéndice II

### NIVELES UMBRAL PARA LOS EFECTOS DETERMINISTAS

Los criterios relacionados con los efectos deterministas de la sección 2.3.1 tienen por objeto establecer una relación con efectos deterministas observables. Sin embargo, si no es posible determinar en el momento de la clasificación si realmente se producirá algún efecto determinista, los datos del presente apéndice pueden usarse para establecer una clasificación basándose en las dosis.

#### II.1. EFECTOS DETERMINISTAS MORTALES

Basándose en la Ref. [10], la probabilidad de muerte aguda debida a la radiación, con tratamiento médico, se presenta en el cuadro 17 para una serie de exposiciones.

#### II.2. OTROS EFECTOS DETERMINISTAS

Para la evaluación de la exposición externa, los niveles umbral se expresan en términos de dosis absorbida ponderada con la EBR y se presentan en el cuadro 18. Los niveles umbral correspondientes a la exposición interna se expresan en términos de dosis absorbida ponderada con la EBR comprometida y se presentan en el cuadro 19. Las EBR figuran en el cuadro 20. Todos estos cuadros se han simplificado a partir de los que figuran en el documento IAEA EPR-D values 2006 [5].

**CUADRO 17. PROBABILIDAD DE EFECTOS DETERMINISTAS MORTALES POR SOBREEXPOSICIÓN**

Dosis de cuerpo entero a corto plazo (Gy)	Probabilidad de muerte por muerte aguda debida a la radiación, con tratamiento médico (%)
0,5	0
1	0
1,5	< 5
2	< 5
3	15–30
6	50
10	90

CUADRO 18. NIVELES UMBRAL DE DOSIS PONDERADA CON LA EBR POR EXPOSICIÓN EXTERNA

Exposición	Efecto	Órgano o tejido	Valor del nivel umbral (Gy)
Exposición local por una fuente adyacente	Necrosis del tejido blando	Tejido blando <sup>a</sup>	25
Exposición de contacto por contaminación superficial	Descamación húmeda	Dermis o piel	10 <sup>c</sup>
Exposición de cuerpo entero por una fuente lejana o inmersión	(Nota b)	Torso	1 <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Tejido blando sobre una superficie de 100 cm<sup>2</sup> y hasta una profundidad de 0,5 cm bajo la superficie del cuerpo.

<sup>b</sup> El valor es la dosis umbral mínima para que se dé cualquier efecto determinista grave por irradiación uniforme del cuerpo entero. El nivel umbral de 1 Gy fue elegido porque es el límite inferior de los niveles umbral correspondientes al comienzo de efectos deterministas graves en la médula ósea, tiroides, cristalino del ojo y órganos reproductivos, como aparecen en el cuadro I-3 del documento IAEA-TECDOC-1432 [8].

<sup>c</sup> Se estima que es necesario este nivel de exposición en al menos 100 cm<sup>2</sup> de piel para que dé lugar a efectos deterministas graves para la salud. La dosis se refiere a las estructuras de la piel a una profundidad de 40 mg/cm<sup>2</sup> (0,4 mm) bajo la superficie.

CUADRO 19. NIVELES UMBRAL DE DOSIS PONDERADA POR EBR COMPROMETIDA POR EXPOSICIÓN INTERNA

Vía de exposición	Efecto	Órgano o tejido objetivo	Nivel umbral	
			Valor (Gy)	Período de compromiso (Nota d)
Inhalación e ingestión	Síndrome hematopoyético	Médula roja <sup>a,b</sup>	0,2 <sup>c</sup> 2 <sup>d</sup>	30
Inhalación	Neumonitis	Región alveolar-intersticial o tracto respiratorio	30	30
Inhalación e ingestión	Síndrome gastrointestinal	Colon	20	30
Inhalación e ingestión	Hipotiroidismo	Tiroides	2 <sup>e</sup>	365 <sup>f</sup>

<sup>a</sup> Para casos de atención médica de apoyo.

<sup>b</sup> Los radionucleidos en que  $Z \geq 90$  comparados con los radionucleidos en que  $Z \leq 89$  tienen distintos procesos biocinéticos y por ello diferentes dinámicas de formación de dosis en la médula roja debido a la exposición interna. Por tanto, se han dividido los radionucleidos en dos grupos para evitar un exceso de conservadurismo al evaluar el riesgo del efecto sobre la salud de que se trate.

<sup>c</sup> Para radionucleidos en que  $Z \geq 90$ .

<sup>d</sup> Para radionucleidos en que  $Z \leq 89$ .

<sup>e</sup> Se utilizó el valor del apéndice A de la Ref. [9]

<sup>f</sup> Teniendo en cuenta el período biológico y físico de semidesintegración de los radionucleidos que dan como resultado una dosis importante al tiroides (isótopos de I y Te), estos factores de dosis correspondían de hecho a un período de compromiso muy inferior a 365 días; sin embargo, se asigna el valor de 365 días para este nivel de referencia.

CUADRO 20. EBR UTILIZADAS PARA EFECTOS DETERMINISTAS GRAVES EN LA SALUD

Efecto en la salud	Órgano crítico	Exposición <sup>a</sup>	EBR
Síndrome hematopoyético <sup>b</sup>	Médula roja	Externa $\gamma$	1
		Externa $n^0$	3
		Interna $\beta, \gamma$	1
		Interna $\alpha$	2
Neumonitis	Pulmón	Interna $\beta, \gamma$	1
		Interna $\alpha$	7
Síndrome gastrointestinal	Colon	Interna $\beta, \gamma$	1
		Interna $\alpha$	0 <sup>c</sup>
		Externa $n^0$	3
Descamación húmeda	Piel <sup>d</sup>	Externa $\beta, \gamma$	1
Tiroiditis aguda por radiación	Tiroides	Incorporación de algunos isótopos de yodo <sup>e</sup>	0,2
		Otros buscadores del tiroides	1
Necrosis	Tejido blando <sup>f</sup>	Externa $\beta, \gamma$	1

<sup>a</sup> La exposición externa  $\beta, \gamma$  incluye la dosis por *bremsstrahlung* producida dentro de los materiales de la fuente.

<sup>b</sup> Para casos con atención médica de apoyo.

<sup>c</sup> Se supone, en relación con los emisores alfa distribuidos uniformemente en los contenidos del colon, que la irradiación de las paredes del intestino es despreciable.

<sup>d</sup> Para una superficie de piel de 100 cm<sup>2</sup>, que se considera que pone en riesgo la vida [9], la dosis a la piel debería calcularse a una profundidad de 0,4 mm, como se recomienda en la Ref. [10], párrs. 305, 306 y 310, en la Ref. [11] y en la sección 3.4.1 de la Ref. [12].

<sup>e</sup> Se supone que la irradiación uniforme del tejido crítico de la glándula tiroides tiene una probabilidad cinco veces mayor de producir efectos deterministas en la salud que la exposición interna a isótopos del yodo emisores beta de baja energía tales como el <sup>131</sup>I, <sup>129</sup>I, <sup>125</sup>I, <sup>124</sup>I y <sup>123</sup>I [9]. Los radionucleidos que se fijan en el tiroides tienen una distribución heterogénea en los tejidos del mismo. El yodo 131 emite partículas beta de baja energía que dan lugar a una efectividad baja de la irradiación de los tejidos críticos del tiroides debido a la disipación de su energía en otros tejidos.

<sup>f</sup> Tejido a una profundidad de 0,5 cm debajo de la superficie corporal en un área superior a 100 cm<sup>2</sup> produce efectos deterministas graves [8, 13].

### Apéndice III

#### VALORES D CORRESPONDIENTES A VARIOS ISÓTOPOS

La información se ha tomado de la clasificación de las fuentes radiactivas [1] del OIEA. En esa publicación y en la referencia que la complementa [5] se consideran dos tipos de valores D. Los valores D son un nivel de actividad por encima del cual se considera que una fuente es “peligrosa” y que tiene un potencial significativo de causar efectos deterministas graves si no se gestiona de forma tecnológica y físicamente segura.

El valor  $D_1$  es la actividad de un radionucleido en una fuente que, si no está sometida a control pero no está dispersa (es decir, permanece encapsulada), podría dar lugar a una emergencia que cabría razonablemente esperar causase efectos deterministas graves en la salud.

El valor  $D_2$  es la actividad de un radionucleido en una fuente que, si no está sometida a control y está dispersa, podría dar lugar a una emergencia que cabría razonablemente esperar causase efectos deterministas graves en la salud.

Los valores D recomendados son los más limitativos de los valores  $D_1$  y  $D_2$ .

Para ser coherentes con este enfoque, en este apéndice se proporcionan dos conjuntos de valores D. Para la sección 2, en la que los criterios se referían al material disperso, se utilizan los valores  $D_2$  (cuadro 21). Para la sección 4, en que los criterios se refieren a la defensa en profundidad, deberían emplearse los valores D globales (cuadro 22).

#### III.1. VALORES $D_2$ DE RADIONUCLEIDOS PARA SU USO CON LOS CRITERIOS DE LA SECCIÓN 2

CUADRO 21. VALORES  $D_2$  PARA UNA SERIE DE ISÓTOPOS

Radionucleido	$D_2$ (TBq)
Am 241	6.E-02
Am 241/Be	6.E-02
Au 198	3.E+01
Cd 109	3.E+01
Cf 252	1.E-02
Cm 244	5.E-02
-----	

CUADRO 21. VALORES  $D_2$  PARA UNA SERIE DE ISÓTOPOS (cont.)

Radionucleido	$D_2$ (TBq)
Co 57	4.E+02
Co 60	3.E+01
Cs 137	2.E+01
Fe 55	8.E+02
Gd 153	8.E+01
Ge 68	2.E+01
H 3	2.E+03
I 125	2.E-01
I 131	2.E-01
Ir 192	2.E+01
Kr 85	2.E+03
Mo 99	2.E+01
Ni 63	6.E+01
P 32	2.E+01
Pd 103	1.E+02
Pm 147	4.E+01
Po 210	6.E-02
Pu 238	6.E-02
Pu 239/Be	6.E-02
Ra 226	7.E-02
Ru 106(Rh 106)	1.E+01
Se 75	2.E+02
Sr 90(Y 90)	1.E+00
Tc 99 <sup>m</sup>	7.E+02
Tl 204	2.E+01
Tm 170	2.E+01
Yb 169	3.E+01

III.2. VALORES D DE RADIONUCLEIDOS PARA SU USO CON  
LOS CRITERIOS DE LA SECCIÓN 4

CUADRO 22. VALORES D PARA UNA SERIE DE ISÓTOPOS

Radionucleido	D (TBq)
Am 241	6.E-02
Am 241/Be	6.E-02
Au 198	2.E-01
Cd 109	2.E+01
Cf 252	2.E-02
Cm 244	5.E-02
Co 57	7.E-01
Co 60	3.E-02
Cs 137	1.E-01
Fe 55	8.E+02
Gd 153	1.E+00
Ge 68	7.E-01
H 3	2.E+03
I 125	2.E-01
I 131	2.E-01
Ir 192	8.E-02
Kr 85	3.E+01
Mo 99	3.E-01
Ni 63	6.E+01
P 32	1.E+01
Pd 103	9.E+01
Pm 147	4.E+01
Po 210	6.E-02
Pu 238	6.E-02
Pu 239/Be	6.E-02
Ra 226	4.E-02
Ru 106(Rh 106)	3.E-01
Se 75	2.E-01
Sr 90(Y 90)	1.E+00
-----	

CUADRO 22. VALORES D PARA UNA SERIE DE ISÓTOPOS (cont.)

Radionucleido	D (TBq)
Tc 99 <sup>m</sup>	7.E-01
Tl 204	2.E+01
Tm 170	2.E+01
Yb 169	3.E-01

III.3. CÁLCULO DE VALORES GLOBALES

Cuando se trata de varias fuentes radiactivas o bultos de transporte, conviene calcular un valor D global. Basándose en las orientaciones contenidas en la clasificación de las fuentes radiactivas[1] y Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos [6], el valor global se calcula como:

$$1/D = \sum f_i/D_i$$

donde D es el valor global de D, f<sub>i</sub> es la fracción del isótopo i y D<sub>i</sub> es el valor de D para el isótopo i, o

$$A/D = \sum A_i/D_i$$

donde A es la actividad total y A<sub>i</sub> es la actividad del isótopo.

## Apéndice IV

### CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES RADIATIVAS BASADA EN LA PRÁCTICA COMÚN

Información tomada de la Clasificación de las fuentes radiactivas [1] del OIEA

CUADRO 23. CLASIFICACIÓN DE LAS PRÁCTICAS COMUNES

Categoría	Clasificación de las prácticas comunes	Isótopos típicos
1	Generadores termoelectrónicos de radioisótopos (RTG)	Sr 90, Pu 238
	Irradiadores	Co 60, Cs 137
	Teleterapia	Co 60, Cs 137
	Teleterapia fija de haces múltiples (cuchillo gamma)	Co 60
2	Radiografía gamma industrial	Co 60, Se 75, Ir 192, Yb 169, Tm 170
	Braquiterapia de tasas de dosis altas/medias	Co 60, Cs 137, Ir 192
3	Medidores industriales fijos	
	Calibradores de nivel	Co 60, Cs 137
	Calibrador de dragado	Co 60, Cs 137
	Calibrador de banda transportadora que contenga fuentes radiactivas de actividad alta	Cs 137, Cf 252
	Calibradores de tubos giratorios	Cs 137
	Calibradores del perfilaje de pozos	Am 241/Be, Cs 137, Cf 252
4	Braquiterapia de baja tasa de dosis (excepto placas del ojo y fuentes de implante permanente)	I 125, Cs 137, Ir 192, Au 198, Ra 226, Cf 252
	Medidores de espesor/nivel de llenado	Kr 85, Sr 90, Cs 137, Am 241, Pm 147, Cm 244
	Medidores portátiles (p. ej, medidores de humedad/densidad)	Cs 137, Ra 226, Am 241/Be, Cf 252
	Densitómetros óseos	Cd 109, I 125, Gd 153, Am 241
	Eliminadores estáticos	Po 210, Am 241

CUADRO 23. CLASIFICACIÓN DE LAS PRÁCTICAS COMUNES (cont.)

Categoría	Clasificación de las prácticas comunes	Isótopos típicos
5	Braquiterapia de baja tasa de dosis, placas del ojo y fuentes de implante permanente	Sr 90, Ru/Rh 106, Pd 103
	Dispositivos de fluorescencia X	Fe 55, Cd 109, Co 57
	Dispositivos de captura de electrones	Ni 63, H 3
	Espectrometría Mossbauer	Co 57
	Fuentes de comprobación de tomografía por emisión de positrones (PET)	Ge 68



## REFERENCIAS

- [1] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Clasificación de las fuentes radiactivas, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° RS-G-1.9, OIEA, Viena (2009).
- [2] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, La Escala Internacional de Sucesos Nucleares (INES) Manual del usuario, Edición de 2001, OIEA, Viena (2001).
- [3] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Rating of Transport and Radiation Source Events: Additional Guidance for the INES National Officers, Working Material, IAEA-INES WM 04/2006, OIEA, Viena (2006).
- [4] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Clarification for Fuel Damage Events, Working Material, IAEA-INES WM/03/2004, OIEA, Viena (2004).
- [5] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Dangerous quantities of radioactive material (D-values), Emergency Preparedness and Response, EPR-D-Values-2006, OIEA, Viena (2006).
- [6] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos, Edición de 2005, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° TS-R-1, OIEA, Viena (2005).
- [7] GRUPO INTERNACIONAL ASESOR EN SEGURIDAD NUCLEAR, Cultura de la Seguridad, Colección Seguridad, N° 75-INSAG-4, OIEA, Viena (1992).
- [8] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Development of an Extended Framework for Emergency Response Criteria: Interim Report For Comments, IAEA-TECDOC-1432, OIEA, Viena (2006).
- [9] COMISIÓN REGULADORA NUCLEAR, Health Effects Models for Nuclear Power Plant Accident Consequence Analysis, Low LET Radiation, Rep. NUREG/CR-4214, Rev.1, Part II SAND85-7185, NRC, Washington, DC (1989).
- [10] HOPEWELL, J. W., Biological Effects of Irradiation on Skin and Recommendation Dose Limits, Radiat. Prot. Dosimetry 39, 1/3 (1991) 11 a 24.
- [11] COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA, The Biological Basis for Dose Limitation in the Skin, Publication 59, Ann ICRP 22, 2, Pergamon Press, Oxford (1991).
- [12] COMISIÓN INTERNACIONAL DE UNIDADES Y MEDIDAS RADIOLÓGICAS, Dosimetry of External Beta Rays for Radiation Protection, ICRU Report 56, ICRU, Bethesda, MD (1996).
- [13] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Diagnosis and Treatment of Radiation Injuries, Colección Informes de Seguridad, N° 2, OIEA, Viena (1998).
- [14] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO, AGENCIA PARA LA ENERGÍA NUCLEAR DE LA OCDE, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación, Colección Seguridad N° 115, OIEA, Viena (1997).

- [15] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Generic procedures for assessment and response during a radiological emergency, IAEA-TECDOC-1162, Viena (2000).
- [16] 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).
- [17] GRUPO INTERNACIONAL ASESOR EN SEGURIDAD NUCLEAR, La defensa en profundidad en seguridad nuclear, INSAG-10, OIEA, Viena (1997).
- [18] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants, Colección Seguridad N° 75-INSAG-3, OIEA, Viena (1999).
- [19] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Código de conducta sobre la seguridad tecnológica y física de las fuentes radiactivas, IAEA/CODEOC/2004, OIEA, Viena (2004).

## **Anexo I**

### **DEFENSA EN PROFUNDIDAD**

Se ha dicho a menudo que la operación segura de las centrales nucleares se garantiza manteniendo tres funciones básicas de seguridad:

- 1) el control de la reactividad;
- 2) la refrigeración del combustible;
- 3) el confinamiento.

Esto se puede generalizar y aplicar a la operación segura de cualquier actividad que implique el uso de material radiactivo, si afirmamos que la operación segura se garantiza manteniendo tres funciones básicas de seguridad:

- 1) el control de la reactividad o de las condiciones del proceso;
- 2) la refrigeración del material radiactivo;
- 3) el control radiológico, (por ejemplo, el confinamiento del material radiactivo y el blindaje).

En el caso de algunas prácticas, no todas estas funciones son pertinentes (por ejemplo, para la radiografía industrial, solo la tercera función es pertinente).

Cada una de las funciones de seguridad se garantiza mediante un buen diseño, una operación bien controlada y una gama de sistemas y controles administrativos. Generalmente se aplica un enfoque de defensa en profundidad a cada uno de estos aspectos y se tiene en cuenta la posibilidad de que se produzcan fallos en los equipos, errores humanos o acontecimientos no previstos.

La defensa en profundidad es, por tanto, una combinación de un diseño conservador, garantía de calidad, vigilancia, medidas de mitigación y una cultura general de seguridad que fortalezca cada uno de los sucesivos niveles.

La defensa en profundidad es fundamental para el diseño y la operación de instalaciones nucleares y radiológicas importantes. En el documento de la Colección Seguridad N° 75-INSAG-3 [I-1] del OIEA titulado “Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants” se establece lo siguiente:

“A fin de compensar posibles fallos humanos y mecánicos, se aplica un concepto de defensa en profundidad centrado en varios niveles de protección que incluyen barreras sucesivas mediante las cuales se evita la emisión de material radiactivo al medio ambiente. El concepto incluye protección de las barreras evitando daños a la central y a las propias barreras. Incluye otras medidas para

proteger al público y al medio ambiente de daños en caso de que estas barreras no sean plenamente eficaces.”

La defensa en profundidad se puede contemplar desde diversas perspectivas. Por ejemplo, se puede tomar en consideración el número de barreras facilitadas para prevenir una emisión (por ejemplo, combustible, vainas, vasija de presión, contención). Del mismo modo, se puede considerar el número de sistemas que tendrían que fallar para que se produzca un accidente (por ejemplo, pérdida del suministro eléctrico exterior más fallo de todos los generadores diesel esenciales). Es este último enfoque el que se adopta dentro del procedimiento de clasificación de la escala INES.

En la justificación de la seguridad de la instalación, se pueden distinguir los sistemas operativos de los elementos de seguridad. Si los sistemas operativos fallan, entonces se activarán los elementos de seguridad adicionales para mantener la función de seguridad. Los elementos de seguridad pueden ser procedimientos, controles administrativos o sistemas pasivos o activos, que se proporcionan de manera redundante y cuya disponibilidad está controlada por los LCO.

La frecuencia con que se demanda la actuación de los elementos de seguridad se puede reducir al mínimo mediante un buen diseño, operación, mantenimiento y vigilancia. Por ejemplo, la frecuencia de fallo del circuito primario de un reactor o de las tuberías y depósitos clave de una planta de reprocesamiento se reduce al mínimo mediante los márgenes de diseño, el control de calidad, las restricciones operacionales y la vigilancia, entre otras cosas. De forma similar, la frecuencia de transitorios del reactor se minimiza mediante procedimientos operacionales y sistemas de control. Los sistemas operacionales y de control normales contribuyen a minimizar la frecuencia con que se demanda la actuación de los elementos de seguridad.

El documento INSAG-10 [I-2] (cuya redacción es posterior a la elaboración de la escala INES) proporciona muchos más detalles sobre la puesta en práctica de la defensa en profundidad en el diseño y en la operación, y el cuadro I-1 muestra cómo se incorporan los conceptos descritos en ese documento INSAG-10 a la evaluación de la defensa en profundidad en la escala INES.

## **REFERENCIAS DEL ANEXO I**

- [1-1] GRUPO INTERNACIONAL ASESOR EN SEGURIDAD NUCLEAR, Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants, Colección Seguridad N° 75-INSAG-3, OIEA, Viena (1999).
- [1-2] GRUPO INTERNACIONAL ASESOR EN SEGURIDAD NUCLEAR, La defensa en profundidad en seguridad nuclear, INSAG-10, OIEA, Viena (1997).

CUADRO I-1. LA DEFENSA EN PROFUNDIDAD EN EL DISEÑO Y LA OPERACIÓN

Objetivo	Medios de aplicación	Tratamiento en la escala INES	
		Para reactores de potencia (sección 5)	Para otras instalaciones (sección 6)
Prevención de la operación anormal y de los fallos.	Diseño conservador y alta calidad en la construcción y operación.	Tratado tomando en consideración la probabilidad del iniciador.	Cada sistema bien diseñado se considera como una o más barreras de seguridad.
Control de la operación anormal y detección de fallos.	Sistemas de control, limitación y protección y otros elementos de vigilancia.	Los elementos de control y vigilancia se tratan tomando en consideración la probabilidad del iniciador. Se incluyen sistemas de protección como sistemas de seguridad y, por ello, se tratan considerando la operabilidad de las funciones de seguridad.	Considerado como una o más barreras de seguridad.
Control de accidentes dentro de la base de diseño.	Elementos de seguridad tecnológicos y procedimientos relativos a los accidentes.	Tratados tomando en consideración la operabilidad de las funciones de seguridad.	Considerado como una o más barreras de seguridad.
Control de las condiciones graves de la central, incluida prevención de la progresión de los accidentes y la mitigación de las consecuencias de accidentes muy graves.	Medidas complementarias y gestión de accidentes.	Tratados tomando en consideración la operabilidad de las funciones de seguridad.	Considerado como una o más barreras de seguridad.
Mitigación de las consecuencias radiológicas de emisiones importantes de materiales radiactivos.	Respuesta de emergencia fuera del emplazamiento.	No se considera parte de la defensa en profundidad. Estas medidas afectan a las consecuencias reales, tal como se vio en las secciones anteriores del manual de usuario de la escala INES.	No se considera parte de la defensa en profundidad. Estas medidas afectan a las consecuencias reales tal como se vio en las secciones anteriores del manual del usuario de la escala INES.

## Anexo II

### EJEMPLOS DE INICIADORES Y SU FRECUENCIA

Cada reactor tiene su propia lista y clasificación de iniciadores que forma parte de su justificación de la seguridad. Este anexo presenta algunos ejemplos típicos de los iniciadores base de diseño que se han utilizado en el pasado para los reactores de potencia, clasificados como “Previsto”, “Posible”, “Improbable”.

#### II-1. REACTORES DE AGUA A PRESIÓN (PWR Y WER)

##### II-1.1. Categoría 1 ‘Previsto’

- Disparo del reactor;
- Dilución involuntaria del compensador químico;
- Pérdida de caudal del agua de alimentación principal;
- Despresurización del sistema de refrigeración del reactor por la operación involuntaria de un componente activo (p. ej. una válvula de seguridad o de alivio);
- Despresurización involuntaria del sistema de refrigeración del reactor mediante enfriamiento del presionador normal o auxiliar por rociado;
- Fuga en el sistema de conversión de la energía que no evitaría una parada y enfriamiento controlados del reactor;
- Fuga en los tubos del generador de vapor que supera las especificaciones técnicas de la central pero que es inferior al equivalente de la rotura completa de un tubo;
- Fuga en el sistema de refrigeración del reactor que no evitaría una parada y enfriamiento controlados del reactor;
- Pérdida de potencia eléctrica exterior, incluida la consideración de las perturbaciones de tensión y frecuencia;
- Operación con un conjunto combustible con una orientación o en una posición erróneas;
- Extracción involuntaria de una barra de control durante la recarga;
- Incidente menor de manipulación de combustible;
- Pérdida completa o interrupción del caudal forzado de refrigeración del reactor, excluido el bloqueo del rotor de la bomba de refrigerante del reactor.

### **II-1.2. Categoría 2 ‘Posible’**

- Accidente con pérdida pequeña de refrigerante (LOCA);
- Rotura completa de un tubo del generador de vapor;
- Caída de un conjunto combustible gastado que afecte solo al conjunto caído;
- Fuga de la piscina de combustible gastado que supere la capacidad de aporte;
- Descarga de refrigerante del reactor a través de múltiples válvulas de seguridad o alivio.

### **II-1.3. Categoría 3 ‘Improbable’**

- LOCA grande, incluida la mayor rotura posible justificada de la tubería en la barrera de presión del refrigerante del reactor;
- Caída de una sola barra de control;
- Rotura importante de la tubería de vapor principal, incluida la mayor rotura posible justificada;
- Caída de un conjunto combustible gastado sobre otros conjuntos combustibles gastados.

## **II-2. REACTORES DE AGUA EN EBULLICIÓN**

### **II-2.1. Categoría 1 ‘Previsto’**

- Disparo del reactor;
- Extracción involuntaria de una barra de control durante la operación a potencia del reactor;
- Pérdida de caudal del agua de alimentación principal;
- Fallo del control de presión del reactor;
- Fuga en el sistema de vapor principal;
- Fuga en el sistema de refrigeración del reactor que no evitaría una parada y enfriamiento controlados del reactor;
- Pérdida de potencia eléctrica exterior, incluida la consideración de las perturbaciones de tensión y frecuencia;
- Operación con un conjunto combustible con una orientación o en una posición erróneas;
- Extracción involuntaria de una barra de control durante la recarga;
- Incidente menor de manipulación de combustible;
- Pérdida del caudal forzado de refrigerante del reactor.

## **II-2.2. Categoría 2 ‘Posible’**

- Pequeño LOCA;
- Rotura de la tubería de vapor principal;
- Caída de un conjunto combustible gastado que afecte solo al conjunto caído;
- Fuga de la piscina de combustible gastado que supere la capacidad normal de aporte;
- Descarga de refrigerante del reactor a través de múltiples válvulas de seguridad o alivio.

## **II-2.3. Categoría 3 ‘Improbable’**

- LOCA importante, incluida la mayor rotura posible justificada de tubería en la barrera de presión del refrigerante del reactor;
- Caída de una sola barra de control;
- Rotura importante de la tubería de vapor principal;
- Caída de un conjunto combustible gastado sobre otros conjuntos combustibles gastados.

## **II-3. REACTORES CANDU DE AGUA PESADA A PRESIÓN**

### **II-3.1. Categoría 1 ‘Previsto’**

- Disparo del reactor;
- Dilución involuntaria del compensador químico;
- Pérdida de caudal del agua de alimentación principal;
- Pérdida del control de presión (alta o baja) del sistema de refrigeración del reactor por fallo u operación involuntaria de un componente activo (p.ej. válvula de alimentación, sangrado o alivio);
- Fuga en los tubos del generador de vapor que supera las especificaciones operacionales de la central pero que es inferior al equivalente de la rotura completa de un tubo;
- Fuga en el sistema de refrigeración del reactor que no evitaría una parada y enfriamiento controlados del reactor;
- Fuga en el sistema de conversión de energía que no evitaría una parada y enfriamiento controlados del reactor;
- Pérdida del suministro eléctrico exterior, incluida la consideración de las perturbaciones de tensión y frecuencia;
- Operación con uno o varios conjuntos combustibles en posición errónea;

- Incidente menor de manipulación de combustible;
- Disparo de una o varias bombas de refrigerante del reactor;
- Pérdida de caudal de agua de alimentación principal a uno o varios generadores de vapor;
- Bloqueo del caudal en un canal individual (menos del 70%);
- Pérdida de refrigeración del moderador;
- Pérdida del control de la computadora;
- Incremento de reactividad no planeado en una región.

### **II-3.2. Categoría 2 ‘Posible’**

- Pequeño LOCA (incluida la rotura del tubo de presión);
- Rotura completa de un tubo del generador de vapor;
- Descarga del refrigerante del reactor a través de múltiples válvulas de seguridad o alivio;
- Daño al combustible irradiado o pérdida de refrigeración de la máquina de carga que contenga combustible gastado;
- Fuga desde la piscina de combustible irradiado que supere la capacidad normal de aporte;
- Rotura de la línea de agua de alimentación;
- Bloqueo del caudal en un canal individual (más del 70%);
- Fallo del moderador;
- Pérdida de la refrigeración del blindaje final;
- Fallo de la refrigeración en régimen de parada;
- Incremento global no planificado de la reactividad;
- Pérdida del agua de servicio (agua de servicio de baja o alta presión, o agua de refrigeración recirculada);
- Pérdida del aire de los instrumentos;
- Pérdida del suministro eléctrico en el emplazamiento (Clase IV, III, II o I).

### **II-3.3. Categoría 3 ‘Improbable’**

- LOCA importante, incluida la mayor rotura posible justificada de tubería en la barrera de presión del refrigerante del reactor;
- Rotura de una tubería importante del sistema de conversión de energía, incluida la mayor rotura posible justificada de la tubería.

## II-4. REACTORES RBMK (LWGR)

### II-4.1. Categoría 1 ‘Previsto’

- Disparo del reactor;
- Mal funcionamiento del sistema de control neutrónico de la potencia del reactor;
- Pérdida del caudal de agua de alimentación principal;
- Despresurización del sistema de refrigeración del reactor (circuito primario) debida a la operación involuntaria de un componente activo (p. ej. una válvula de seguridad o de alivio);
- Fuga en el circuito primario que no impide el disparo y enfriamiento normales del reactor;
- Caudal reducido de refrigerante a través de un grupo de canales de combustible y canales del sistema de protección del reactor;
- Caudal reducido de la mezcla de helio en el apilamiento de grafito del reactor;
- Pérdida del suministro eléctrico exterior, incluidas las perturbaciones de tensión y frecuencia;
- Operación con un conjunto combustible con una orientación o en una posición erróneas;
- Incidente menor de manipulación de combustible;
- Despresurización del canal de combustible durante la recarga.

### II-4.2. Categoría 2 ‘Posible’

- Pequeño LOCA;
- Caída de un conjunto combustible gastado;
- Fuga de la piscina de combustible gastado que supere la capacidad normal de aporte;
- Fuga de refrigerante primario a través de múltiples válvulas de seguridad o de alivio;
- Rotura del canal de combustible o del canal del sistema de protección del reactor;
- Pérdida del caudal de agua en cualquier canal de combustible;
- Pérdida del caudal de agua en sistema de refrigeración del sistema de protección del reactor;
- Pérdida total de mezcla de helio en el apilamiento de grafito del reactor;
- Emergencia durante el funcionamiento de la máquina de recarga en servicio;
- Pérdida total del suministro eléctrico auxiliar;

- Suministro no autorizado de agua fría del sistema de refrigeración de emergencia del núcleo (ECCS) al reactor.

### **II-4.3. Categoría 3 ‘Improbable’**

- LOCA importante, incluida la mayor rotura posible justificada de tubería en la barrera de presión del refrigerante del reactor;
- Rotura de la tubería de vapor principal antes de válvula de aislamiento de vapor principal (MSIV), incluida la mayor rotura posible justificada de la tubería;
- Caída de un conjunto combustible gastado sobre otros conjuntos combustibles gastados;
- Pérdida total del caudal del agua de servicio;
- Eyección de conjunto combustible desde el canal de combustible, incluida la eyección desde el canal de combustible mientras está en la máquina de recarga.

## **II-5. REACTORES REFRIGERADOS POR GAS**

### **II-5.1. Categoría 1 ‘Previsto’**

- Disparo del reactor;
- Pérdida del caudal de agua de alimentación principal;
- Despresurización muy pequeña;
- Fuga de los tubos de la caldera;
- Pérdida del suministro eléctrico exterior, incluidas las perturbaciones de tensión y frecuencia;
- Extracción involuntaria de una o varias barras de control;
- Incidente menor de manipulación de combustible;
- Algunas pérdidas o interrupciones del caudal forzado de refrigeración del reactor.

### **II-5.2. Categoría 2 ‘Posible’**

- Despresurización poco importante;
- Extracción involuntaria de un grupo de barras de control;
- Rotura completa del tubo de la caldera;
- Caída del rigidizador de combustible (solo AGR);
- Cierre de los álabes guía de entrada al circulador (IGV) (solo AGR);
- Fallos de cierre del limitador (solo AGR).

### **II-5.3. Categoría 3 ‘Improbable’**

- Despresurización importante;
- Fallo del sistema de tuberías de vapor;
- Fallo del sistema de tuberías de alimentación.

### **Anexo III**

#### **LISTA DE PAÍSES Y ORGANIZACIONES PARTICIPANTES**

Alemania	Eslovenia
Arabia Saudita	España
Argentina	Estados Unidos de América
Armenia	ex República Yugoslava de Macedonia
Australia	Federación de Rusia
Austria	Finlandia
Bangladesh	Francia
Belarús	Grecia
Bélgica	Guatemala
Brasil	Hungría
Bulgaria	India
Canadá	Irán, República Islámica del
Corea, República de	Irlanda
Costa Rica	Islandia
Croacia	Italia
Chile	Japón
China	Kazajstán
Dinamarca	Kuwait
Egipto	Líbano
Eslovaquia	

Lituania	República Árabe Siria
Luxemburgo	República Checa
México	República Democrática del Congo
Montenegro	Rumania
Noruega	Sri Lanka
Países Bajos	Sudáfrica
Pakistán	Suecia
Perú	Suiza
Polonia	Turquía
Portugal	Ucrania
Reino Unido	Viet Nam

## **ENLACE INTERNACIONAL**

Asociación Mundial de Explotadores de Instalaciones Nucleares  
Asociación Nuclear Mundial  
Comisión Europea  
Foro Atómico Europeo (FORATOM)

## GLOSARIO

En la presente sección se presentan las definiciones de palabras o expresiones importantes utilizadas en este manual. Muchas de ellas se han tomado de las Normas Básicas de Seguridad [14] y del Glosario de Seguridad Tecnológica [16] del OIEA. En muchos casos, en el manual se proporciona una explicación más detallada.

**accidente.** En el contexto de la notificación y el análisis de sucesos, se denomina accidente a un suceso que ha tenido consecuencias importantes para las personas, el medio ambiente o la instalación. Son ejemplos de ello los efectos letales para las personas, grandes emisiones de radiactividad al medio ambiente, la fusión del núcleo del reactor. Para comunicar la importancia de los sucesos al público, la escala INES clasifica los sucesos en uno de siete niveles y utiliza el término accidente para describir sucesos de nivel 4 o superior. Los sucesos de importancia inferior se denominan incidentes.

**Nota:** En los análisis de seguridad y en las normas de seguridad del OIEA, el término “accidente” tiene un carácter mucho más general y significa “Todo suceso involuntario, incluidos los errores de operación, fallos de equipo u otros contratiempos, cuyas consecuencias reales o potenciales, no sean despreciables desde el punto de vista de la protección o de la seguridad” [14]. Por tanto, los sucesos que se considerarían accidentes según la definición de las normas de seguridad pueden ser accidentes o “incidentes” según la terminología utilizada en la comunicación pública y en la escala INES. La definición de la escala INES, más específica, se utiliza para ayudar al público a entender la importancia para la seguridad.

**barreras de seguridad.** Sistemas pasivos, sistemas de seguridad que se activan manual o automáticamente, o controles administrativos que se establecen para garantizar que se llevarán a cabo las funciones de seguridad necesarias [16]. Una barrera de seguridad debe considerarse un elemento de seguridad que no puede desglosarse en partes redundantes. Véase la sección 6.2.2 para encontrar una definición detallada del uso del término en este documento concreto.

**barrera de seguridad de alta fiabilidad.** En algunos casos, el tiempo disponible puede ser tal que permita disponer de todo un conjunto de barreras de seguridad potenciales, y no se ha considerado necesario identificar en detalle cada una de ellas en la justificación de seguridad o incluir en el procedimiento información detallada sobre cómo disponer de cada una de

ellas. En tales casos (siempre que exista un conjunto de medidas factibles se que puedan aplicar) este prolongado tiempo disponible constituye por sí mismo una barrera de seguridad de alta fiabilidad.

**barrera de seguridad de alta integridad.** Una barrera de seguridad de alta integridad tiene las siguientes características:

- a) La barrera de seguridad está diseñada para hacer frente a todos los fallos base de diseño pertinentes y está reconocida, explícita o implícitamente, en la justificación de seguridad de la planta, como elemento que ofrece una fiabilidad o integridad particularmente elevadas.
- b) La integridad de la barrera de seguridad se garantiza por medio de una monitorización e inspección adecuadas para identificar cualquier degradación de la integridad.
- c) Si se detecta cualquier degradación de la barrera, existen medios claros para hacer frente al suceso y aplicar medidas correctoras, bien por medio de procedimientos predeterminados o de la disponibilidad de plazos prolongados para reparar o mitigar el fallo.

**barreras radiológicas.** Barreras físicas que contienen al material radiactivo y/o blindan a las personas contra la radiación que emana del material.

**bulto.** Embalaje con su contenido radiactivo, tal como se presenta para el transporte. Existen varios tipos de bulto:

- 1) Bulto exceptuado;
- 2) Bulto industrial del Tipo 1 (Tipo BI-1);
- 3) Bulto industrial del Tipo 2 (Tipo BI-2);
- 4) Bulto industrial del Tipo 3 (Tipo BI-3);
- 5) Bulto del Tipo A;
- 6) Bulto del Tipo B(U);
- 7) Bulto del Tipo B(M);
- 8) Bulto del Tipo C.

Las especificaciones y requisitos detallados para cada tipo de bulto se especifican en el Reglamento de Transporte [6].

**clasificación básica.** Clasificación antes de tener en cuenta los factores adicionales. Se basa meramente en la importancia de los fallos reales de equipo o administrativos.

**confinamiento.** Prevención o control de las emisiones de material radiactivo al medio ambiente durante la explotación o en caso de accidentes [16].

**Nota:** El confinamiento es similar en significado a la contención, pero confinamiento se usa para referirse a la función de seguridad consistente en prevenir “escape” de materiales radiactivos, mientras que contención se refiere a los medios para cumplir tal función.

**consecuencias reales.** Se refiere, en este manual, a las consecuencias clasificadas aplicando los criterios para estimar el impacto en las personas y el medio ambiente, así como en las barreras radiológicas y controles de las instalaciones. Esto contrasta con los sucesos clasificados según los criterios utilizados para determinar la degradación de la defensa en profundidad, que incluye los sucesos sin consecuencias reales pero en los que las medidas adoptadas para prevenir o hacer frente a los accidentes no funcionaron en la manera prevista.

**contención.** Métodos o estructuras físicas diseñados para evitar o controlar la emisión y la dispersión de sustancias radiactivas [16].

**cultura de seguridad.** Conjunto de características y actitudes de las organizaciones y personas que establece, como prioridad absoluta, que las cuestiones relativas a la protección y seguridad reciban la atención que merecen por su importancia [14].

**defensa en profundidad.** Despliegue jerárquico a diferentes niveles de equipos y procedimientos diversos para prevenir la escalada de los incidentes operacionales previstos y para mantener la eficacia de las barreras físicas situadas entre una fuente de radiación o materiales radiactivos y los trabajadores, los miembros de la población o el medio ambiente [16]. Para más información, véase la introducción de las secciones 4, 5, 6, del anexo I y del documento INSAG-10 [17].

**dosis.** Medida de la energía depositada por la radiación en un blanco [16]. Siempre que esta palabra se usa en definiciones concretas, se requieren detalles adicionales tales como dosis absorbida, dosis efectiva, exposición de cuerpo entero, dosis ponderada con la EBR.

**dosis absorbida.** Magnitud dosimétrica fundamental definida por la expresión:

$$D = d\varepsilon/dm$$

en la que  $d$  es la energía media impartida por la radiación ionizante a la materia en un elemento de volumen, y  $dm$  es la masa de la materia existente en el elemento de volumen. La unidad SI de dosis absorbida es el julio por kilogramo ( $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) y se denomina gray (Gy) [14].

**dosis absorbida ponderada con EBR.** Producto de la dosis absorbida por un órgano o tejido y la EBR de la radiación que produce la dosis:

$$AD_T = \sum_R D_T^R \times EBR_T^R;$$

donde  $D_T^R$  es la dosis al órgano por la radiación  $R$ , en el tejido  $T$ , y  $EBR_T^R$  es la eficacia biológica relativa de la radiación  $R$  para producir un efecto específico en un órgano o tejido particular  $T$ . La unidad de dosis absorbida ponderada con EBR es  $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ , denominada gray-equivalente (Gy-Eq). El objeto de la dosis absorbida ponderada con EBR es tener en cuenta las diferencias en eficacia biológica para producir efectos deterministas en la salud en órganos o tejidos del hombre de referencia debido a la calidad de la radiación [5].

**dosis anual.** Dosis debida a la exposición externa en un año, más la dosis comprometida causada por las incorporaciones de radionucleidos en ese año [16].

**dosis efectiva.** Medida de dosis ideada para reflejar la cuantía del detrimento por la radiación que es probable que se derive de esa dosis. Los valores de la dosis efectiva resultantes de cualquier tipo de radiación y modo de exposición pueden compararse directamente. Se define como el sumatorio de las dosis equivalentes en tejido, multiplicada cada una por el factor de ponderación del tejido correspondiente:

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T$$

donde  $H_T$  es la dosis equivalente recibida por el tejido  $T$ , y  $w_T$  el factor de ponderación del tejido correspondiente al tejido  $T$ . De la definición de dosis equivalente, se desprende que:

$$E = \sum_T w_T \cdot \sum_R w_R \cdot D_{T,R}$$

donde  $w_R$  es el factor de ponderación de la radiación para la radiación R y  $D_{T,R}$  es la dosis absorbida media en el órgano o tejido T [14].

La unidad de dosis efectiva es el sievert (Sv), igual a 1 J/kg. El rem, igual a 0,01 Sv, se usa a veces como unidad de dosis equivalente y de dosis efectiva.

**dosis equivalente.** Medida de la dosis a un tejido u órgano concebida para reflejar la cuantía del daño causado. Los valores de dosis equivalente a un tejido especificado de cualquier tipo de radiación pueden compararse directamente. Se define como la magnitud  $H_{T,R}$ , en que:

$$H_{T,R} = w_R \cdot D_{T,R}$$

donde  $D_{T,R}$  es la dosis absorbida debida a la radiación de tipo R, promediada sobre un tejido u órgano T, y  $w_R$  es el factor de ponderación de la radiación de tipo R. Cuando el campo de radiación se compone de varios tipos de radiación con diferentes valores de  $w_R$ , la dosis equivalente es:

$$H_T = \sum_R w_R \cdot D_{T,R}$$

La unidad de dosis equivalente es el sievert (Sv), igual a 1 J/kg. El rem, igual a 0,01 Sv, se usa a veces como unidad de dosis equivalente y de dosis efectiva.

**efecto determinista.** Efecto de la radiación en la salud para el que existe por lo general un nivel umbral de dosis por encima del cual la gravedad del efecto aumenta al elevarse la dosis [14].

**Nota.** El nivel umbral de dosis es característico del efecto en cuestión en la salud pero también puede depender, hasta cierto punto, de la persona expuesta. Ejemplos de efectos deterministas son el eritema y el síndrome agudo de radiación (síndrome de radiación).

**efecto estocástico.** Efecto en la salud, inducido por la radiación, cuya probabilidad de darse aumenta al incrementar la dosis de radiación, y cuya gravedad (cuando se produce) es independiente de la dosis [16].

**Nota.** Los efectos estocásticos por lo general se producen sin un nivel de dosis umbral. Ejemplos de efectos estocásticos son diversos tipos de cáncer y la leucemia.

**elementos de seguridad.** Los elementos de seguridad pueden ser procedimientos, controles administrativos o sistemas activos o pasivos que se proveen normalmente con carácter redundante y cuya disponibilidad está controlada por los límites y condiciones operacionales.

**entidad explotadora.** Entidad que solicita autorización, o que está autorizada, para hacer funcionar una instalación autorizada y es responsable de su seguridad.

**Nota:** En la práctica, en el caso de una instalación autorizada, la entidad explotadora es normalmente también el titular de la licencia o el titular registrado.

Véase también explotador.

**explotador.** Cualquier organización o persona que solicita una autorización o que esté autorizada y/o sea responsable de la seguridad nuclear, radiológica, de los desechos radiactivos o del transporte cuando se llevan a cabo actividades o en relación con cualesquiera instalaciones nucleares o fuentes de radiación ionizante. Se incluyen, entre otros, personas privadas, órganos gubernamentales, remitentes o transportistas, titulares de licencia, hospitales, trabajadores por cuenta propia, etc.

**Nota.** Explotador incluye tanto a quienes controlan directamente una instalación o una actividad durante el uso de una fuente (como radiografistas o transportistas) o, en el caso de una fuente que no está sometida a control (como una fuente perdida o retirada ilícitamente, o un satélite reentrante), a quienes eran responsables de la fuente antes de perder el control al que estaba sometida.

**Nota.** Es sinónimo de entidad explotadora.

**exposición.** Acto o situación de estar sometido a irradiación [16].

**Nota:** No se debe utilizar exposición como sinónimo de dosis, que es una medida de los efectos de la exposición.

**exposición externa.** Exposición a la radiación procedente de una fuente situada fuera del cuerpo [16].

**exposición interna.** Exposición a la radiación procedente de una fuente situada dentro del cuerpo [16].

**factores adicionales.** Factores que pueden dar por resultado un incremento de la clasificación básica del suceso. Los factores adicionales permiten considerar los aspectos del suceso que pueden indicar una degradación más profunda de la central o de la organización de la instalación. Los factores considerados son los fallos de causa común, los procedimientos inadecuados y las deficiencias en la cultura de seguridad.

**fallo de causa común.** Fallo de dos o más estructuras, sistemas o componentes debido a un único suceso o causa específicos[16].

Por ejemplo, una deficiencia de diseño o de fabricación, errores de operación o mantenimiento, un fenómeno natural, sucesos provocados por el ser humano, una saturación de señales o cualquier otro efecto inesperado en cascada por cualesquiera otros operación o fallo en la central o por cambio en las condiciones ambientales.

**fuelle.** Cualquier elemento que pueda causar exposición a las radiaciones – por ejemplo por emisión de radiación ionizante o de materiales o sustancias radiactivas – y que pueda tratarse como un todo a efectos de protección y seguridad [16].

Por ejemplo, los materiales que emiten radón son fuentes presentes en el medio ambiente una unidad de esterilización por irradiación gamma es una fuente para la práctica de conservación de alimentos por irradiación; un aparato de rayos X puede ser una fuente para la práctica del radiodiagnóstico; una central nuclear es parte de la práctica de generación de electricidad por medio de la fisión nuclear, y puede considerarse una fuente (por ejemplo, con respecto a las descargas al medio ambiente) o una colección de fuentes (por ejemplo, a efectos de la protección radiológica ocupacional).

**fuelle de radiación.** Generador de radiación o fuente radiactiva u otro material radiactivo utilizado fuera de los ciclos del combustible nuclear de los reactores de investigación y de potencia [16].

**fuelle huérfana.** Fuente radiactiva que no está sometida a control reglamentario, sea porque nunca lo ha estado, sea porque ha sido abandonada, perdida, extraviada, robada o transferida sin la debida autorización [19].

**fuelle radiactiva.** Material radiactivo permanentemente encerrado en una cápsula o fuertemente envuelto, en forma sólida, y que no está exento de control reglamentario. También se entiende todo material radiactivo emitido por fuga o rotura de la fuente radiactiva, pero no el material

encapsulado para su disposición final, ni el material nuclear que interviene en los ciclos del combustible nuclear de los reactores de investigación y de potencia [19].

**funciones de seguridad.** Las tres funciones de seguridad básicas son: a) controlar la reactividad o las condiciones del proceso; b) enfriar el material radiactivo; c) confinar el material radiactivo.

**generador de radiación.** Dispositivo capaz de generar radiación como rayos X, neutrones, electrones u otras partículas cargadas, que puede utilizarse con fines científicos, industriales o médicos [14].

**incidente.** En el contexto de la notificación y el análisis de sucesos, se utiliza el término incidente para describir sucesos que son menos graves que los accidentes. A fin de comunicar la importancia de los sucesos al público, la escala INES clasifica los sucesos en uno de siete niveles y utiliza el término incidente para describir sucesos que van hasta el nivel 3 incluido. Los sucesos de importancia superior se denominan accidentes.

**iniciador (suceso iniciador).** Un iniciador o suceso iniciador es un suceso, identificado en el análisis de la seguridad, que conduce a una desviación de la operación normal y activa una o más funciones de seguridad.

**instalaciones autorizadas.** Instalaciones a las que se ha concedido algún tipo específico de autorización. Se trata de instalaciones nucleares; instalaciones de irradiación; algunas instalaciones de extracción y procesamiento de materias primas, como las minas de uranio; instalaciones de gestión de desechos radiactivos; y cualesquiera otros lugares en que se producen, procesan, utilizan, manipulan, almacenan o someten a disposición final materiales radiactivos –o donde se instalan generadores de radiación– en una escala que obligue a tener en cuenta aspectos relativos a la protección y la seguridad.

**justificación de la seguridad.** Colección de argumentos y pruebas que demuestran la seguridad de una instalación o actividad.

**límite autorizado.** Límite de una magnitud medible (incluida la operabilidad del equipo) establecido o aceptado oficialmente por un órgano regulador (a veces estos límites se establecen dentro de los denominados LCO).

**límite de dosis.** Valor de la dosis efectiva o de la dosis equivalente causada a los individuos por prácticas controladas, que no se deberá rebasar [14]. Hay una serie de límites que se deben tener en cuenta incluida la dosis efectiva de cuerpo entero, las dosis a la piel, las dosis a las extremidades y las dosis al cristalino del ojo.

**límites y condiciones operacionales.** Conjunto de reglas que establecen los límites de los parámetros, la capacidad funcional y los niveles de rendimiento del equipo y el personal aprobados por el órgano regulador para la explotación de una instalación autorizada en condiciones de seguridad [16]. (En la mayoría de países, cuando se trata de centrales nucleares, éstos se incluyen en las especificaciones técnicas).

**material fisible.**  $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$ , o cualquier combinación de estos radionucleidos. Se exceptúan de esta definición:

- a) el uranio natural o el uranio empobrecido no irradiados, y
- b) el uranio natural o el uranio empobrecido que hayan sido irradiados solamente en reactores térmicos [16].

**material radiactivo.** Material que, según lo establecido por la legislación nacional o por un órgano regulador, está sometido al control reglamentario debido a su radiactividad.

**nivel de investigación.** Valor de una magnitud como la dosis efectiva, la incorporación o la contaminación por unidad de área o de volumen, al alcanzarse o rebasarse el cual se recomienda que se realice una investigación.

**operabilidad del equipo.** Capacidad de realizar la función requerida en la forma requerida.

**operabilidad de una función de seguridad.** La operabilidad de una función de seguridad puede ser: *plena*, *la mínima requerida por los LCO*, *adecuada* o *inadecuada*; en función de la operabilidad de cada uno de los sistemas y componentes de seguridad redundantes y diversos.

**personal de operación.** Trabajadores empleados en la explotación de una instalación autorizada.

**práctica.** Toda actividad humana que introduce fuentes de exposición o vías de exposición adicionales o extiende la exposición a más personas o modifica el conjunto de las vías de exposición debidas a las fuentes existentes, de forma que aumente la exposición o la probabilidad de exposición de personas o el número de personas expuestas. [14]

**Nota.** Expresiones del tipo de “práctica autorizada”, “práctica controlada” y “práctica regulada” se emplean para distinguir las prácticas que están sujetas a control reglamentario de otras actividades que se ajustan a la definición de práctica pero que no necesitan control o no se prestan a estar controladas.

**radiológico.** Adjetivo que se refiere tanto a la radiación como a la contaminación (superficial y suspendida en el aire).

**restricción de dosis.** Restricción prospectiva de la dosis individual administrada por una fuente, que se utiliza para fijar una cota superior de la dosis en la optimización de la protección y la seguridad tecnológica de la fuente [16].

**sistemas de seguridad.** Sistemas importantes para la seguridad, establecidos para garantizar las funciones de seguridad.

**suceso.** Cualquier acontecimiento que requiere la presentación de un informe al regulador o al explotador o de una comunicación al público.

**trabajador.** Toda persona que trabaja, ya sea en jornada completa, jornada parcial o temporalmente, por cuenta de un empleador y que tiene derechos y deberes reconocidos en lo que atañe a la protección radiológica ocupacional. (Se considera que una persona empleada por cuenta propia tiene a la vez los deberes de un empleador y un trabajador) [14].

**zona de explotación.** zonas donde se permite el acceso de los trabajadores sin permisos específicos. Se excluyen las zonas en las que se requieren controles específicos (más que la necesidad general de un dosímetro personal y overoles) debido al nivel de contaminación o radiación.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Ilustración de los elementos de seguridad para el ejemplo 4 . . . .	131
Figura 2.	Ilustración de las barreras de seguridad correspondiente a los ejemplos 44 y 46 . . . . .	135
Figura 3.	Diagrama del sistema de refrigeración correspondiente al ejemplo 48 . . . . .	139
Figura 4.	Procedimiento general para la clasificación según la escala INES . . . . .	153
Figura 5.	Procedimiento para clasificar el efecto en las personas y el medio ambiente . . . . .	154
Figura 6.	Procedimiento para clasificar el efecto en las barreras y controles radiológicos de las instalaciones . . . . .	155
Figura 7.	Procedimiento general para clasificar el efecto en la defensa en profundidad . . . . .	156
Figura 8.	Procedimiento para clasificar el efecto en la defensa en profundidad para sucesos relacionados con el transporte y las fuentes de radiación . . . . .	157
Figura 9.	Procedimiento para clasificar el efecto en la defensa en profundidad en reactores a potencia . . . . .	158
Figura 10.	Procedimiento para clasificar el efecto en la defensa en profundidad en instalaciones del ciclo de combustible, reactores de investigación, aceleradores, o instalaciones con fuentes de la Categoría 1, y reactores que no están a potencia . . .	159



## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.	Criterios generales para clasificar sucesos de acuerdo con la INES .....	3
Cuadro 2.	Equivalencia radiológica al $^{131}\text{I}$ para las emisiones a la atmósfera .....	17
Cuadro 3.	Resumen de las clasificaciones basadas en las dosis a las personas .....	23
Cuadro 4.	Equivalencia radiológica de la contaminación de una instalación .....	37
Cuadro 5.	Relación entre la razón A/D, la categoría de fuente, las consecuencias potenciales máximas y la clasificación en función de la defensa en profundidad. ....	46
Cuadro 6.	Clasificación de sucesos para fuentes, dispositivos o bultos de transporte radiactivos perdidos o encontrados .....	52
Cuadro 7.	Clasificación de sucesos que suponen la degradación de los elementos de seguridad .....	53
Cuadro 8.	Clasificación de otros sucesos importantes desde el punto de vista de la seguridad .....	56
Cuadro 9.	Sucesos con un iniciador real .....	79
Cuadro 10.	Sucesos sin un iniciador real .....	82
Cuadro 11.	Clasificación de sucesos mediante el enfoque de barreras de seguridad .....	117
Cuadro 12.	Ejemplos ilustrativos de los criterios de la escala INES para clasificar sucesos en instalaciones nucleares .....	160
Cuadro 13.	Ejemplos ilustrativos de la clasificación INES de sucesos relacionados con fuentes de radiación y el transporte .....	161
Cuadro 14.	Factores correspondientes a la contaminación de la instalación (solo inhalación) .....	165
Cuadro 15.	Emisión a la atmósfera: dosis por la deposición en el suelo e inhalación .....	166
Cuadro 16.	Equivalencias radiológicas .....	167
Cuadro 17.	Probabilidad de efectos deterministas mortales por sobreexposición .....	168
Cuadro 18.	Niveles umbral de dosis ponderada con la EBR por exposición externa .....	169
Cuadro 19.	Niveles umbral de dosis ponderada por EBR comprometida por exposición interna .....	170
Cuadro 20.	EBR utilizadas para efectos deterministas graves en la salud ....	171
Cuadro 21.	Valores $D_2$ para una serie de isótopos .....	172
Cuadro 22.	Valores D para una serie de isótopos .....	174
Cuadro 23.	Clasificación de las prácticas comunes .....	176



## LISTA DE EJEMPLOS

Ejemplo 1.	Sobreexposición de un electricista en un hospital – Nivel 2 . . . .	24
Ejemplo 2.	Sobreexposición de un radiólogo – Nivel 2 . . . . .	25
Ejemplo 3.	Sobreexposición de un radiólogo industrial – Nivel 3 . . . . .	26
Ejemplo 4.	Disgregación de una fuente muy activa abandonada – Nivel 5 . . . . .	27
Ejemplo 5.	Liberación de yodo 131 de un reactor – Nivel 5 . . . . .	28
Ejemplo 6.	Sobrecalentamiento de un tanque de almacenamiento de desechos de alta actividad en una instalación de reprocesamiento – Nivel 6 . . . . .	29
Ejemplo 7.	Emisión importante de actividad tras un accidente de criticidad y un incendio – Nivel 7 . . . . .	30
Ejemplo 8.	Suceso en un laboratorio que produce fuentes radiactivas – Debajo de la escala / Nivel 0 . . . . .	38
Ejemplo 9.	Daños al combustible en un reactor – Debajo de la escala / Nivel 0 . . . . .	39
Ejemplo 10.	Derrame de líquido contaminado con plutonio en el suelo de un laboratorio – Nivel 2 . . . . .	39
Ejemplo 11.	Catación de plutonio en una instalación de reprocesamiento – Nivel 2 . . . . .	40
Ejemplo 12.	Evacuación cerca de una instalación nuclear – Nivel 4 . . . . .	41
Ejemplo 13.	Fusión del núcleo del reactor – Nivel 5 . . . . .	42
Ejemplo 14.	Desprendimiento y recuperación de una fuente para radiografía industrial – Debajo de la escala / Nivel 0 . . . . .	57
Ejemplo 15.	Descarrilamiento de un tren que transportaba combustible gastado – Debajo de la escala / Nivel 0 . . . . .	58
Ejemplo 16.	Bulto dañado por una carretilla elevadora – Debajo de la escala / Nivel 0 . . . . .	59
Ejemplo 17.	Robo de una fuente para radiografía industrial – Nivel 1 . . . . .	60
Ejemplo 18.	Varias fuentes radiactivas encontradas en la chatarra – Nivel 1 . . . . .	60
Ejemplo 19.	Pérdida de un medidor de densidad – Nivel 1 . . . . .	61
Ejemplo 20.	Fuente radiactiva robada durante el transporte – Nivel 1 . . . . .	62
Ejemplo 21.	Derrame de material radiactivo en un departamento de medicina nuclear – Nivel 1 . . . . .	63
Ejemplo 22.	Choque de un tren con bultos de material radiactivo – Nivel 1 . . . . .	64
Ejemplo 23.	Descubrimiento de que contenedores de transporte supuestamente vacíos contenían material nuclear – Nivel 1 . . . . .	65

Ejemplo 24. Dosis sospechosa en dosímetro de película – Nivel 1 . . . . .	66
Ejemplo 25. Fusión de una fuente huérfana – Nivel 2 . . . . .	68
Ejemplo 26. Pérdida de una fuente de alta actividad para radioterapia – Nivel 3 . . . . .	68
Ejemplo 27. Disparo del reactor tras la caída de barras de control – Debajo de la escala / Nivel 0 . . . . .	88
Ejemplo 28. Fuga de refrigerante del reactor durante una recarga a potencia – Nivel 1 . . . . .	89
Ejemplo 29. No disponibilidad de rociado de la contención porque se dejaron válvulas en posición cerrada – Nivel 1 . . . . .	90
Ejemplo 30. Fuga de agua del sistema primario a través de un disco de ruptura del depósito de descarga del presionador – Nivel 1 . . . . .	92
Ejemplo 31. Caída de un conjunto combustible durante la recarga – Nivel 1 . . . . .	94
Ejemplo 32. Calibración incorrecta de los detectores de sobrepotencia regional – Nivel 1 . . . . .	94
Ejemplo 33. Fallo de un tren de un sistema de seguridad durante unas pruebas rutinarias – Nivel 1 . . . . .	95
Ejemplo 34. El diseño de una planta en relación con las inundaciones puede que no permita mitigar las consecuencias de fallos en el sistema de tuberías – Nivel 1 . . . . .	96
Ejemplo 35. Dos generadores diesel de emergencia no se pusieron en marcha tras la desconexión del suministro eléctrico de la red principal – Nivel 2 . . . . .	98
Ejemplo 36. Pérdida entre 15 y 20 minutos de circulación forzada de gas – Nivel 2 . . . . .	100
Ejemplo 37. Pequeña fuga en el circuito primario – Nivel 2 . . . . .	102
Ejemplo 38. Bloqueo parcial de la toma de agua con tiempo frío – Nivel 3 . . . . .	103
Ejemplo 39. Disparo de la unidad debido a perturbaciones en la red por un tornado – Nivel 3 . . . . .	105
Ejemplo 40. Apagón total de la central debido a un incendio en el edificio de turbinas – Nivel 3 . . . . .	106
Ejemplo 41. Pérdida de refrigeración en parada debido a un aumento de presión del refrigerante – Debajo de la escala / Nivel 0 . . . .	130
Ejemplo 42. Pérdida de refrigeración en parada debido al funcionamiento espurio de sensores de presión – Debajo de la escala / Nivel 0 . . . . .	131
Ejemplo 43. Pérdida total de refrigeración en parada – Nivel 1 . . . . .	133

Ejemplo 44. Pérdida de refrigeración en parada debido a un aumento de presión del refrigerante – Nivel 2 .....	134
Ejemplo 45. Pérdida de refrigeración en parada debido al funcionamiento espurio de sensores de presión – Nivel 3 .....	136
Ejemplo 46. Pérdida de refrigeración en parada debido a un aumento de presión del refrigerante – Nivel 3 .....	137
Ejemplo 47. Presurización del espacio encima del nivel de líquido en un recipiente de disolución de elementos combustibles – Debajo de la escala / Nivel 0 .....	138
Ejemplo 48. Pérdida de refrigeración en un reactor de investigación pequeño – Debajo de la escala / Nivel 0 .....	139
Ejemplo 49. Niveles de radiación elevados en una instalación de reciclaje de combustible nuclear – Debajo de la escala / Nivel 0 .....	141
Ejemplo 50. Un trabajador recibió una dosis acumulada de cuerpo entero superior al límite de dosis – Nivel 1 .....	143
Ejemplo 51. Fallo del control de la criticidad – Nivel 1 .....	144
Ejemplo 52. Pérdida prolongada de ventilación en una instalación de fabricación de combustible – Nivel 1 .....	145
Ejemplo 53. Fallo del sistema de enclavamiento de una puerta blindada – Nivel 2 .....	146
Ejemplo 54. Transitorio de potencia en un reactor de investigación durante la carga de combustible – Nivel 2 .....	148
Ejemplo 55. Cuasi criticidad en una instalación de reciclaje de combustible nuclear – Nivel 2 .....	149



## COLABORADORES EN LA REDACCIÓN Y REVISIÓN

### MIEMBROS DE COMITÉ ASESOR DE LA INES (al 30 de junio de 2008)

Abe, K.	Organización de Seguridad de la Energía Nuclear del Japón (Japón)
Dos Santos, R.	Comisión Nacional de Energía Nuclear, Instituto de Radioprotección y Dosimetría (Brasil)
Gauvain, J. ( <i>enlace AEN de la OCDE</i> )	Agencia para la Energía Nuclear/Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos
Jones, C. G.	Comisión Reguladora Nuclear (Estados Unidos de América)
Jouve, A.	Autoridad de Seguridad Nuclear (Francia)
Ramírez, M. L.	Consejo de Seguridad Nuclear (España)
Sharma, S. K.	Departamento de Energía Atómica (India)
Spiegelberg Planer, R. ( <i>Coordinación de la INES en el OIEA</i> )	Organismo Internacional de Energía Atómica
Stott, A. K.	Eskom Holding Limited (Sudáfrica)
van Iddekinge, F.	Ministerio de Vivienda, Planificación Espacial y Medio Ambiente (Países Bajos)
Vlahov, N.	Organismo de Regulación Nuclear (Bulgaria)
Woodcock, C.	Sellafield Ltd. (Reino Unido)

### OFICIALES NACIONALES DE LA INES (al 30 de junio de 2008)

Agapov, A. M.	Ministerio de Energía Atómica de la Federación de Rusia (Federación de Rusia)
Al-Suleiman, K. M.	Ciudad de Ciencia y Tecnología Rey Abdulaziz (Arabia Saudita)

Ananenko, A.	Comité Estatal de Reglamentación Nuclear de Ucrania (Ucrania)
Assi, M.	Comisión de Energía Atómica del Líbano (Líbano)
Basaez Pizarro, H.	Comisión Chilena de Energía Nuclear (Chile)
Belamarić, N.	Oficina Estatal de Protección Radiológica (Croacia)
Bermúdez Jiménez, L. A.	Comisión de Energía Atómica (Costa Rica)
Breuskin, P.	Ministerio de Salud (Luxemburgo)
Cao, S.	Autoridad de Energía Atómica de China (China)
Chande, S. K.	Junta Reguladora de la Energía Atómica (India)
Ciurea-Ercau, C. M.	Comisión Nacional de Control de Actividades Nucleares (Rumania)
Coenen, S.	Agencia Federal de Control Nuclear (Bélgica)
Freire de Nave, D. Y.	Dirección General de Energía Nuclear (Guatemala)
Glazunov, A.	Central nuclear de Ignalina (Lituania)
González, V.	Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (México)
Grimaldi, G.	Instituto Superior para la Protección y las Investigaciones Científicas para el Medio Ambiente (Italia)
Gulol, O. O.	Organismo Turco de Energía Atómica (Turquía)
Guterres, R.	Comisión Nacional de Energía Nuclear (Brasil)
Heilbron, P.	Comisión Nacional de Energía Nuclear (Brasil)
Hofer, P.	Ministerio Federal de Agricultura, Silvicultura y Gestión del Agua (Austria)
Hornkjøl, S.	Autoridad Noruega de Protección Radiológica (Noruega)

Huang, F.	Instituto de Investigaciones sobre Explotación de Centrales Nucleares (China)
Isasia González, R.	Consejo de Seguridad Nuclear (España)
Jones, R.	Dirección de Seguridad Nuclear (Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte)
Jones, C. G.	Comisión Reguladora Nuclear (Estados Unidos de América)
Jouve, A.	Autoridad de Seguridad Nuclear (Francia)
Jovanovic, S.	Universidad de Montenegro, Facultad de Ciencias (Montenegro)
Kampmann, D.	Organismo de Gestión de Emergencias (Dinamarca)
Kim, S.	Ministerio de Ciencia y Tecnología (República de Corea)
Koskiniemi, T.	Organismo de Seguridad Radiológica y Nuclear (Finlandia)
Larsson, N.	Autoridad Sueca de Seguridad Radiológica (Suecia)
Lavalle Heilbron, P. F.	Comisión Nacional de Energía Nuclear (Brasil)
Linhart, O.	Oficina Estatal de Seguridad Nuclear (República Checa)
Linsenmaier, B.	Inspección Federal de Seguridad Nuclear (Suiza)
Maltezos, A.	Comisión Griega de Energía Atómica (Grecia)
Malu wa Kalenga	Comisión General de Energía Atómica (República Democrática del Congo)
Mansoor, F.	Comisión de Energía Atómica del Pakistán (Pakistán)
Maqua, M.	Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit GmbH (Alemania)
Melkumyan, A.	Autoridad Reguladora Nuclear de Armenia (Armenia)

Metke, E.	Autoridad Reguladora Nuclear de la República Eslovaca (Eslovaquia)
Morishita, Y.	Organismo de Seguridad Nuclear e Industrial (Japón)
Mottl, V.	Agencia Australiana de Protección Radiológica y Seguridad Nuclear (Australia)
Muller, A.	Organismo Nacional de Reglamentación Nuclear (Sudáfrica)
Nemec, T.	Administración Eslovena de Seguridad Nuclear (Eslovenia)
Nhi Dien, N.	Instituto de Investigación Nuclear (Viet Nam)
Nyisztor, D.	Autoridad de Energía Atómica de Hungría (Hungría)
Oliveira Martins, J.	Agencia Portuguesa de Medio Ambiente (Portugal)
Pálsson, S. E.	Instituto Islandés de Protección Radiológica (Islandia)
Pérez, S.	Autoridad Regulatoria Nuclear (Argentina)
Pollard, D.	Instituto de Protección Radiológica de Irlanda (Irlanda)
Popov, B.	Instituto de Problemas Energéticos de la Academia Nacional de Ciencias de Belarús (Belarús)
Rahman, M.	Comisión de Energía Atómica de Bangladesh (Bangladesh)
Ramírez, R.	Instituto Peruano de Energía Nuclear (Perú)
Rashad, S.	Organismo Egipcio de Energía Atómica (Egipto)
Ragheb, H.	Comisión Canadiense de Seguridad Nuclear (Canadá)
Rastkhah, N.	Organización de Energía Atómica del Irán (República Islámica del Irán)
Sharipov, M.	Comité de Energía Atómica de Kazajstán (Kazajstán)
Silva, W. A. P.	Autoridad de Energía Atómica (Sri Lanka)

Skarzewski, M.	Inspección Estatal de Seguridad Radiológica y Nuclear (Polonia)
Suman, H.	Comisión de Energía Atómica (República Árabe Siria)
Suyama, K.	Ministerio de Educación, Cultura, Deportes, Ciencias y Tecnología (Japón)
Thielen, G.	Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit GmbH (Alemania)
Valcic, I.	Oficina Estatal de Seguridad Nuclear (Croacia)
van Iddekinge, F.	Ministerio de Vivienda, Planificación Espacial y Medio Ambiente (Países Bajos)
Vinhas, L.	Comisión Nacional de Energía Nuclear (Brasil)
Vlahov, N.	Organismo de Regulación Nuclear (Bulgaria)
Wild, V.	Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit GmbH (Alemania)
Yousef, S.	Ministerio de Salud (Kuwait)
Zhang, F.	Autoridad de Energía Atómica de China (China)
Zhuk, Y.	Instituto de Investigaciones sobre Explotación de Centrales Nucleares de toda Rusia (Federación de Rusia)

#### ORGANIZACIONES INTERNACIONALES

O'Donovan, M.	Foro Atómico Europeo
Tallebois, C.	Foro Atómico Europeo
Welsh, G.	Asociación Mundial de Explotadores de Instalaciones Nucleares

## REVISORES DEL OIEA

Baciu, F.

Buglova, E.

Czarwinski, R.

Dodd, B. (*consultor del OIEA*)

Eklund, M.

Friedrich, V.

Mc Kenna, T.

Spiegelberg Planer, R.

Wangler, M.

Wheatley, J.

### **Reuniones del Comité Técnico**

Viena (Austria): 1 a 4 de julio de 2008

### **Reuniones de consultores**

Ciudad del Cabo (Sudáfrica): 9 a 13 de octubre de 2006

Viena (Austria): 4 a 8 de junio de 2007, 10 a 21 de septiembre de 2007,  
18 a 22 de febrero de 2008

### **Reuniones del Comité Asesor de la INES**

Viena (Austria): 19 a 23 de marzo de 2007, 17 a 20 de marzo de 2008



# IAEA

Organismo Internacional de Energía Atómica

Nº 22

## Lugares donde se pueden encargar publicaciones del OIEA

En los siguientes países se pueden adquirir publicaciones del OIEA de los proveedores que figuran a continuación, o en las principales librerías locales. El pago se puede efectuar en moneda local o con bonos de la UNESCO.

### ALEMANIA

UNO-Verlag, Vertriebs- und Verlags GmbH, Am Hofgarten 10, D-53113 Bonn  
Teléfono: + 49 228 94 90 20 • Fax: +49 228 94 90 20 ó +49 228 94 90 222  
Correo-e: [bestellung@uno-verlag.de](mailto:bestellung@uno-verlag.de) • Sitio web: <http://www.uno-verlag.de>

### AUSTRALIA

DA Information Services, 648 Whitehorse Road, MITCHAM 3132  
Teléfono: +61 3 9210 7777 • Fax: +61 3 9210 7788  
Correo-e: [service@dadirect.com.au](mailto:service@dadirect.com.au) • Sitio web: <http://www.dadirect.com.au>

### BÉLGICA

Jean de Lannoy, avenue du Roi 202, B-1190 Bruselas  
Teléfono: +32 2 538 43 08 • Fax: +32 2 538 08 41  
Correo-e: [jean.de.lannoy@infoboard.be](mailto:jean.de.lannoy@infoboard.be) • Sitio web: <http://www.jean-de-lannoy.be>

### CANADÁ

Bernan Associates, 4501 Forbes Blvd, Suite 200, Lanham, MD 20706-4346, EE.UU.  
Teléfono: 1-800-865-3457 • Fax: 1-800-865-3450  
Correo-e: [customercare@bernan.com](mailto:customercare@bernan.com) • Sitio web: <http://www.bernan.com>

Renouf Publishing Company Ltd., 1-5369 Canotek Rd., Ottawa, Ontario, K1J 9J3  
Teléfono: +613 745 2665 • Fax: +613 745 7660  
Correo-e: [order.dept@renoufbooks.com](mailto:order.dept@renoufbooks.com) • Sitio web: <http://www.renoufbooks.com>

### CHINA

Publicaciones del OIEA en chino: China Nuclear Energy Industry Corporation, Sección de Traducción  
P.O. Box 2103, Beijing

### ESLOVENIA

Cankarjeva Založba d.d., Kopitarjeva 2, SI-1512 Ljubljana  
Teléfono: +386 1 432 31 44 • Fax: +386 1 230 14 35  
Correo-e: [import.books@cankarjeva-z.si](mailto:import.books@cankarjeva-z.si) • Sitio web: <http://www.cankarjeva-z.si/uvoz>

### ESPAÑA

Díaz de Santos, S.A., c/ Juan Bravo, 3A, E-28006 Madrid  
Teléfono: +34 91 781 94 80 • Fax: +34 91 575 55 63  
Correo-e: [compras@diazdesantos.es](mailto:compras@diazdesantos.es), [carmela@diazdesantos.es](mailto:carmela@diazdesantos.es), [barcelona@diazdesantos.es](mailto:barcelona@diazdesantos.es), [julio@diazdesantos.es](mailto:julio@diazdesantos.es)  
Sitio web: <http://www.diazdesantos.es>

### ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

Bernan Associates, 4501 Forbes Blvd., Suite 200, Lanham, MD 20706-4346, EE.UU.  
Teléfono: 1-800-865-3457 • Fax: 1-800-865-3450  
Correo-e: [customercare@bernan.com](mailto:customercare@bernan.com) • Sitio web: <http://www.bernan.com>

Renouf Publishing Company Ltd., 812 Proctor Ave., Ogdensburg, NY, 13669, EE.UU.  
Teléfono: +888 551 7470 (gratuito) • Fax: +888 568 8546 (gratuito)  
Correo-e: [order.dept@renoufbooks.com](mailto:order.dept@renoufbooks.com) • Sitio web: <http://www.renoufbooks.com>

### FINLANDIA

Akateeminen Kirjakauppa, P.O. BOX 128 (Keskuskatu 1), FIN-00101 Helsinki  
Teléfono: +358 9 121 41 • Fax: +358 9 121 4450  
Correo-e: [akatilaus@akateeminen.com](mailto:akatilaus@akateeminen.com) • Sitio web: <http://www.akateeminen.com>

### FRANCIA

Form-Edit, 5, rue Janssen, P.O. Box 25, F-75921 Paris Cedex 19  
Teléfono: +33 1 42 01 49 49 • Fax: +33 1 42 01 90 90  
Correo-e: [formedit@formedit.fr](mailto:formedit@formedit.fr) • Sitio web: <http://www.formedit.fr>

Lavoisier SAS, 145 rue de Provigny, 94236 Cachan Cedex  
Teléfono: + 33 1 47 40 67 02 • Fax +33 1 47 40 67 02  
Correo-e: [romuald.verrier@lavoisier.fr](mailto:romuald.verrier@lavoisier.fr) • Sitio web: <http://www.lavoisier.fr>

## **HUNGRÍA**

Librotrade Ltd., Book Import, P.O. Box 126, H-1656 Budapest  
Teléfono: +36 1 257 7777 • Fax: +36 1 257 7472 • Correo-e: books@librotrade.hu

## **INDIA**

Allied Publishers Group, 1st Floor, Dubash House, 15, J. N. Heredia Marg, Ballard Estate, Mumbai 400 001  
Teléfono: +91 22 22617926/27 • Fax: +91 22 22617928  
Correo-e: alliedpl@vsnl.com • Sitio web: <http://www.alliedpublishers.com>

Bookwell, 2/72, Nirankari Colony, Delhi 110009  
Teléfono: +91 11 23268786, +91 11 23257264 • Fax: +91 11 23281315  
Correo-e: bookwell@vsnl.net

## **ITALIA**

Libreria Scientifica Dott. Lucio di Biasio "AEIOU", Via Coronelli 6, I-20146 Milán  
Teléfono: +39 02 48 95 45 52 ó 48 95 45 62 • Fax: +39 02 48 95 45 48  
Correo-e: info@libreriaaeiou.eu • Sitio web: [www.libreriaaeiou.eu](http://www.libreriaaeiou.eu)

## **JAPÓN**

Maruzen Company, Ltd., 13-6 Nihonbashi, 3 chome, Chuo-ku, Tokyo 103-0027  
Teléfono: +81 3 3275 8582 • Fax: +81 3 3275 9072  
Correo-e: journal@maruzen.co.jp • Sitio web: <http://www.maruzen.co.jp>

## **NACIONES UNIDAS**

Dept. I004, Room DC2-0853, First Avenue at 46th Street, Nueva York, N.Y. 10017, EE.UU.  
Teléfono (Naciones Unidas): +800 253-9646 ó +212 963-8302 • Fax: +212 963 -3489  
Correo-e: publications@un.org • Sitio web: <http://www.un.org>

## **NUEVA ZELANDIA**

DA Information Services, 648 Whitehorse Road, MITCHAM 3132, Australia  
Teléfono: +61 3 9210 7777 • Fax: +61 3 9210 7788  
Correo-e: service@dadirect.com.au • Sitio web: <http://www.dadirect.com.au>

## **PAÍSES BAJOS**

De Lindeboom Internationale Publicaties B.V., M.A. de Ruyterstraat 20A, NL-7482 BZ Haaksbergen  
Teléfono: +31 (0) 53 5740004 • Fax: +31 (0) 53 5729296  
Correo-e: books@delindeboom.com • Sitio web: <http://www.delindeboom.com>

Martinus Nijhoff International, Koraalrood 50, P.O. Box 1853, 2700 CZ Zoetermeer  
Teléfono: +31 793 684 400 • Fax: +31 793 615 698  
Correo-e: info@nijhoff.nl • Sitio web: <http://www.nijhoff.nl>

Swets and Zeitlinger b.v., P.O. Box 830, 2160 SZ Lisse  
Teléfono: +31 252 435 111 • Fax: +31 252 415 888  
Correo-e: info@swets.nl • Sitio web: <http://www.swets.nl>

## **REINO UNIDO**

The Stationery Office Ltd, International Sales Agency, P.O. Box 29, Norwich, NR3 1 GN  
Teléfono (pedidos) +44 870 600 5552 • (información): +44 207 873 8372 • Fax: +44 207 873 8203  
Correo-e (pedidos): book.orders@tso.co.uk • (información): book.enquiries@tso.co.uk • Sitio web: <http://www.tso.co.uk>

Pedidos en línea

DELTA Int. Book Wholesalers Ltd., 39 Alexandra Road, Addlestone, Surrey, KT15 2PQ  
Correo-e: info@profbooks.com • Sitio web: <http://www.profbooks.com>

Libros relacionados con el medio ambiente

Earthprint Ltd., P.O. Box 119, Stevenage SG1 4TP  
Teléfono: +44 1438748111 • Fax: +44 1438748844  
Correo-e: orders@earthprint.com • Sitio web: <http://www.earthprint.com>

## **REPÚBLICA CHECA**

Suweco CZ, S.R.O., Klecakova 347, 180 21 Praga 9  
Teléfono: +420 26603 5364 • Fax: +420 28482 1646  
Correo-e: nakup@suweco.cz • Sitio web: <http://www.suweco.cz>

## **REPÚBLICA DE COREA**

KINS Inc., Information Business Dept. Samho Bldg. 2nd Floor, 275-1 Yang Jae-dong SeoCho-G, Seúl 137-130  
Teléfono: +02 589 1740 • Fax: +02 589 1746 • Sitio web: <http://www.kins.re.kr>

**Los pedidos y las solicitudes de información también se pueden dirigir directamente a:**

### **Dependencia de Mercadotecnia y Venta, Organismo Internacional de Energía Atómica**

Centro Internacional de Viena, P.O. Box 100, 1400 Viena, Austria  
Teléfono: +43 1 2600 22529 (ó 22530) • Fax: +43 1 2600 29302  
Correo-e: sales.publications@iaea.org • Sitio web: <http://www.iaea.org/books>

INES, la Escala Internacional de Sucesos Nucleares y Radiológicos, fue elaborada en 1990 por expertos convocados por el OIEA y la Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE con el objeto de comunicar la importancia de los sucesos para la seguridad. La presente edición del Manual del usuario de la escala INES está concebida para facilitar la tarea a quienes deben clasificar la importancia de los sucesos para la seguridad utilizando la escala. Incluye orientaciones y aclaraciones adicionales, y presenta ejemplos y observaciones sobre el uso continuado de la escala INES. Se prevé que, con esta nueva edición, la escala INES será ampliamente utilizada por los Estados Miembros y se convertirá en la escala mundial para analizar desde una perspectiva adecuada la importancia para la seguridad de cualquier suceso relacionado con el transporte, el almacenamiento y el uso de material radiactivo y fuentes de radiación, tanto si el suceso ocurre en una instalación como fuera de ella.