

Energía

Gobierno de la República

**DIRECCIÓN GENERAL DE
SEGURIDAD RADIOLÓGICA**

**GUÍA ORIENTATIVA PARA LA REALIZACIÓN DE
ANÁLISIS DE SEGURIDAD, PLANIFICACIÓN Y
RESPUESTA A EMERGENCIAS RADIOLÓGICAS EN
INSTALACIONES RADIATIVAS.**

Tegucigalpa, M.D.C., agosto 2023

versión: 1.4

Contenido

CAPÍTULO I	2
OBJETIVO PRINCIPAL	2
ALCANCE.....	2
NORMATIVA	2
CAPÍTULO II	3
TÉRMINOS Y DEFINICIONES.....	3
CAPÍTULO III	4
GENERALIDADES.....	4
CAPÍTULO IV	5
EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD	5
Análisis de Seguridad de la Instalación.....	5
<i>Análisis de la magnitud de las consecuencias (C) asociadas a cada suceso iniciador</i>	8
Análisis de las Defensas (P) en Profundidad: Barreras y Reductores	8
<i>Criterios para la asignación de los niveles de probabilidad</i>	9
Formas de combinar las variables:.....	9
Evaluación cualitativa del riesgo asociado a cada secuencia accidentes:	9
Criterios para evaluar la aceptabilidad del riesgo:.....	10
Gestión y reducción del riesgo:.....	10
Aplicación de la metodología:	10
CAPÍTULO V	12
PLAN DE EMERGENCIAS RADIOLÓGICAS.....	12
ANEXOS:	19
Anexo 1: Ejemplos de eventos naturales que pueden incidir en la ocurrencia de situaciones de emergencias radiológicas.....	20
Anexo 2: Notificación de Emergencia Radiológica.....	21
Notificación de Emergencia Radiológica.....	21
.....	22
Anexo 3: Niveles de intervención operacionales (NIO) en emergencias radiológicas basados en las mediciones de tasas de dosis ambientales producto de radionúclidos emisores gamma.....	23
Anexo 4: Perímetro de Seguridad	24
Anexo 5: Niveles de Orientación de la dosis efectiva total para los trabajadores de emergencia.....	25
Anexo 6: Contenidos del informe final de emergencia radiológica	26
Anexo 7: Factores Gamma de Radionucleidos Comunes.....	27

Anexo 8: Matriz de Riesgo.....	28
Anexo 9: Ejemplos de sucesos iniciadores.....	28
Referencias.....	29

INTRODUCCIÓN

La seguridad radiológica es un aspecto crítico en las instalaciones que manipulan fuentes radiactivas. En caso de ocurrir un evento radiológico, la planificación y respuesta efectiva puede marcar la diferencia en la protección de las personas, el medio ambiente y la propiedad. Por lo tanto, es importante que las instalaciones radiactivas cuenten con un plan de emergencias y respuesta bien definido, y que se realicen análisis de seguridad para identificar y evaluar los riesgos asociados a sus actividades y los posibles escenarios de emergencia.

CAPÍTULO I

OBJETIVO PRINCIPAL

La guía tiene como objetivo fundamental establecer requisitos y orientar a los usuarios para garantizar que las instalaciones radiactivas, posean un nivel adecuado en cuanto a evaluación, preparación, y respuesta en casos de **emergencias radiológicas** y la elaboración de planes de emergencias. A través de esta guía, se presentarán los conceptos básicos de seguridad radiológica, se explicará cómo realizar un análisis de seguridad radiológica, se discutirán los aspectos clave de un plan de emergencias radiológicas y se proporcionarán directrices para la respuesta a emergencias radiológicas.

ALCANCE

El documento está diseñado para ser implementado por todas instalaciones que realizan prácticas u operaciones que se asocien al empleo de generadores de radiación ionizante y/o materiales radiactivos.

NORMATIVA

La elaboración de la guía con respecto a situaciones de emergencias radiológicas se hace en base a lo establecido en la normativa siguiente:

1. Ley Sobre Actividades Nucleares y Seguridad Radiológica, establecido mediante Decreto Legislativo No.195-200.
2. Reglamento de Autorizaciones para Instalaciones Radiactivas y Equipos Generadores de Radiaciones Ionizantes, establecido mediante Acuerdo Ejecutivo No. 003-2014.
3. Reglamento de Protección Radiológica, establecido mediante Acuerdo Ejecutivo No. 004-2014
4. Reglamento de Protección Física de los Materiales Nucleares y Radiactivos mediante Acuerdo Ejecutivo No. 005-2015
5. Reglamento General para la Aplicación de la Ley Sobre Actividades Nucleares y Seguridad Radiológica mediante Acuerdo Ejecutivo No. 073-2019.

CAPÍTULO II

TÉRMINOS Y DEFINICIONES

Autoridad Reguladora: la Secretaría de Estado en los Despachos de Energía, a través de la Dirección General de Seguridad Radiológica (DGSR) quien ha sido designada para cumplir las funciones de regulación y control de la seguridad del uso de fuentes radiactivas y equipos generadores de radiación ionizante.

Autorización: Permiso otorgado por escrito para que una instalación autorizada realice actividades específicas.

Calibración: Medición o ajuste de un instrumento, componente o sistema para cerciorarse de que su exactitud o respuesta es aceptable.

Detector: dispositivo que se utiliza para medir la cantidad de radiación ionizante presente en un entorno determinado.

Protección Radiológica: protección de las personas contra los efectos nocivos de la exposición a la radiación ionizante y los medios que se emplean para conseguir esa protección y seguridad radiológica.

Seguridad Radiológica: protección del medio ambiente, la propiedad, así como la prevención de eventos radiológicos y la minimización de sus consecuencias. Esta se basa en la identificación y evaluación de los riesgos asociados a las actividades que involucran radiación ionizante, y en la implementación de medidas de seguridad para evitar la liberación de material radiactivo o la exposición no controlada de personas o del medio ambiente a la radiación ionizante.

Público: miembros de la población, excepto el personal expuesto.

Personal Ocupacionalmente Expuesto (POE): cualquier personal o trabajador de una instalación que utilice fuentes radiactivas o equipos generadores de radiación ionizante cuyas funciones conlleven a la exposición a radiaciones ionizantes.

Exposición: Interacción del cuerpo humano con un campo de radiación con niveles distintos a los niveles de radiación de fondo natural.

Tasa de dosis: es una magnitud que indica la intensidad del campo de radiación ionizante existente en un instante dado y por tanto proporciona la información dosimétrica de un modo inmediato. La tasa de dosis, por lo tanto, mide dosis equivalente por unidad de tiempo y sus unidades típicas son mSv/h o μ Sv/h.

Dosis Equivalente: una magnitud física que describe el efecto relativo de los distintos tipos de radiaciones ionizantes sobre los tejidos vivos. Su unidad en el Sistema Internacional son los sieverts (Sv).

Instalación Radiactiva: Dependencias y equipos destinados a la producción, tratamiento, manipulación, almacenamiento o utilización en forma segura de materiales radiactivos o equipos generadores de radiaciones ionizantes.

Material Radiactivo: Cualquier material que contiene sustancias que emiten radiaciones ionizantes en una proporción tal que puede ser necesaria la adopción de algún tipo de medidas de control, que no esté ni exento ni excluido.

Radiación Ionizante: radiación capaz de producir pares de iones en materia biológica(s).

Elemento Vulnerable: Cualquier objeto, área o equipo dentro de una instalación radiactiva que puede ser susceptible a daños o afectaciones por una emergencia radiológica. Pueden incluirse, sistemas de

ventilación, tuberías, contenedores de material radiactivo, equipos electrónicos, áreas de almacenamiento, entre otros.

Evento/Suceso Iniciador: situación o evento que puede desencadenar una emergencia radiológica. Este evento puede ser una falla en el equipo, un error humano, una violación de los procedimientos de seguridad, un accidente, una catástrofe natural u otra circunstancia imprevista. El evento iniciador puede dar lugar a la liberación de material radiactivo o a la exposición de personas o del medio ambiente a la radiación ionizante.

Deshermeticización: proceso en el cual se pierde o quita la hermeticidad o sellado a un recipiente o equipo que contiene material radiactivo.

Suceso Radiológico: acontecimiento no intencionado por parte de la instalación, incluidos los errores de operación, fallo de equipos u otros percances, o acción deliberada por parte de otros, cuyas consecuencias reales o potenciales no son despreciables desde el punto de vista de Protección Radiológica.

Evaluación de Seguridad: proceso sistemático que se utiliza para determinar la capacidad de un sistema o instalación para protegerse de los peligros y riesgos asociados con una variedad de situaciones como emergencias, accidentes, desastres naturales, entre otros. Este se centra en la protección contra los peligros y riesgos asociados con la exposición a la radiación ionizante.

Emergencia Radiológica: situación o suceso no ordinario, que requiere la pronta adopción de medidas para mitigar un peligro o las consecuencias adversas para la salud, seguridad humana, calidad de vida, los bienes o el medio ambiente. Aquí se incluyen las emergencias radiológicas y las emergencias convencionales tales como: incendios, emisiones de productos químicos peligrosos, tormentas o terremotos. También se incluyen las situaciones que exigen la pronta adopción de medidas para mitigar los efectos de un peligro percibido.

Respuesta a Emergencias Radiológicas: aplicación de medidas de protección para mitigar las consecuencias de una emergencia radiológica. Esto incluye a la instalación que posee los generadores o fuentes involucradas en la emergencia radiológica.

Entidades Interventoras: Se refiere a los órganos, organismos y entidades externas al propietario de la fuente que coopera con la instalación propietaria y ejecutan medidas de protección establecidas como primeros auxilios, socorrismo, asistencia médica. Seguridad y protección pública, extinción de incendios, seguridad radiológica. Estos incluyen, pero no se limitan a Policía Nacional, Cuerpo de Bomberos, Fuerzas Armadas, Cruz Roja, Policía Militar, asesores radiológicos, y otros.

CAPÍTULO III

GENERALIDADES

1. La instalación radiactiva, a fin de garantizar una adecuada preparación para la respuesta a emergencias radiológicas, debe elaborar un Plan de Emergencias Radiológicas. Este se debe de elaborar tomando en cuenta los resultados de la Evaluación de Seguridad partiendo de una metodología que permita identificar los sucesos iniciadores de incidente y accidentes que generen exposición no controlada.
2. El Plan de Emergencias Radiológicas debe establecer las medidas de tal manera que se proporcione una respuesta eficaz ante una emergencia radiológica cuando se produzcan sucesos radiológicos razonablemente previsibles independientemente de su probabilidad.

3. El Plan de Emergencias Radiológicas es un elemento del Plan de Protección Radiológica de la instalación y forma parte de la documentación que se debe presentar mediante apoderado legal a la Autoridad Reguladora para tramitar su respectiva autorización.
4. El Plan de Emergencias Radiológicas debe de permanecer en constante revisión y actualización tomando en cuenta evaluaciones de seguridad y lecciones aprendidas, o siempre que se considere circunstancias que modifiquen algunos de aspectos que sirvieron de base para su elaboración.
5. Se debe mantener una copia actualizada en físico del Plan de Emergencias Radiológicas. Este deberá estar actualizado y se mantendrá en un lugar accesible para todos los integrantes sensibles a la respuesta de una emergencia.
6. El representante legal de la instalación debe garantizar la planificación y realización de simulacros periódicos y adecuados, los cuales servirán para evaluar y verificar la idoneidad de todo el sistema.

CAPÍTULO IV

EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD

Análisis de Seguridad de la Instalación

Fuentes y/o Material Radiactivo

7. Se estima la dosis a la que estará expuesto el trabajador ocupacionalmente expuesto con condiciones de operaciones normales, utilizando la siguiente expresión:

$$D = \frac{A \Gamma}{d^2} \times t$$

Donde A=Actividad de la fuente en las unidades dimensionalmente adecuadas,

Γ =Factor Gamma del nucleído (tabla adjunta en ANEXO 7),

t=tiempo de exposición medido en horas (hr)

d=distancia entre la fuente radiactiva y el punto de interés donde pueda estar ubicado el trabajador, medida en metros (m)

Estimación de las dosis esperadas en condiciones normales de operación tanto para el personal ocupacionalmente expuesto como para público.

8. Para estimar la dosis de los trabajadores se debe de tomar en cuenta lo siguiente:
 - 8.1. Definir los cargos del personal operacionalmente expuesto que serán considerados en la estimación de dosis.
 - 8.2. Definir las tareas en las cuales el personal estará expuesto.
 - 8.3. Definir las tasas de dosis que recibe el personal durante la ejecución de cada una de las tareas anteriormente indicadas, en las condiciones en que se refleje un balance razonable entre los aspectos conservadores y realistas.
 - 8.4. Definir los tiempos dedicados a cada tarea
 - 8.5. Calcular las dosis durante la realización de cada una de las tareas como un producto de la tasa de dosis por el tiempo.
 - 8.6. Calcular la dosis total estimada que recibe el trabajador como la suma de la dosis recibida en cada una de las tareas definidas.
 - 8.7. Comparar la dosis total con las restricciones de dosis, cuando estas han sido definidas o con los límites de dosis establecidos en regulaciones vigentes.

9. Para estimar la dosis del público de debe de tomar en cuenta lo siguiente:
 - 9.1. Definir las áreas destinadas al público
 - 9.2. Definir las tasas de dosis que recibe el público
 - 9.3. Calcular la dosis debido a la permanencia en estas áreas como producto de la tasa de dosis por el tiempo
 - 9.4. Comparar la dosis total con las restricciones de dosis, cuando estas han sido definidas o con los límites de dosis establecidos en regulaciones vigentes.
10. Los niveles de riesgo se pueden medir cuantitativa, utilizando la tabla que de Criterios de Riesgo, utilizando como límite el valor de 20 mSv.

Riesgo	Rango de Valores	Nivel de Riesgo	Observaciones
R	0-0.5	Bajo	Condiciones aceptables
	0.5	Medio	Condiciones por mejorar
	0.5-1	Alto	Aplicar acciones para reducir el riesgo
	1	Muy Alto	Aplicar acciones urgentes para minimizar el riesgo

Tabla 1 Criterio de Riesgo

Estimación de las dosis potenciales para casos de situaciones de emergencias, accidentes o sucesos radiológicos.

11. Estimación tanto para el personal ocupacionalmente expuesto como para el público debe seguir la siguiente secuencia:
 - 11.1 Definir los escenarios de potenciales accidentes considerando: Lecciones aprendidas de accidentes que han ocurrido. Resultados de los análisis de riesgo (secuencias accidentales de mayor riesgo). La selección de los escenarios debería reflejar un balance razonable entre los aspectos conservadores y realistas, para evitar que el número de escenarios analizados sea inmanejable en la práctica.
 - 11.2 Definir las tasas de dosis máximas que recibe el trabajador durante el accidente. En este paso se analizará cada escenario definido, de forma independiente.
 - 11.3 Definir los tiempos de permanencia del miembro del público durante el accidente.
 - 11.4 Calcular la dosis total estimada que recibe el miembro del público durante el accidente, como un producto de la tasa de dosis por el tiempo.
 - 11.5 Proponer medidas de protección, mitigación y respuesta

Identificación de los sucesos iniciadores de accidentes:

12. Se identifican todos los fallos de equipo y errores humanos posibles en la práctica. Existen varios métodos para poder determinar los sucesos iniciadores: Análisis de Modos y Efectos de Fallo (FMEA), el Análisis de peligros y operatividad (HAZOP), así como el análisis “¿Qué pasaría si ...?”. También pueden utilizarse listados genéricos de sucesos iniciadores que hayan sido publicados y adaptarlo a las condiciones concretas de la práctica. (Ver Ilustración 1)

Estimación de la frecuencia (f) de ocurrencia de dichos sucesos:

13. Para analizar la frecuencia con la que un suceso iniciador puede ocurrir en un determinado tiempo, se considera importante tomar como base los registros de las fallas de equipos y errores humanos que existen en la instalación a evaluar. Para fallos de equipos se deberá considerar la tasa de fallo de sus componentes y las horas de operación. La frecuencia (f) de los sucesos iniciadores provocados por fallo de equipo puede utilizarse la siguiente ecuación:

$$f = \frac{2n + 1}{2T}$$

Donde: n=número de fallos del equipo,
T=es el intervalo de tiempo en el que ocurren los fallos (en años)

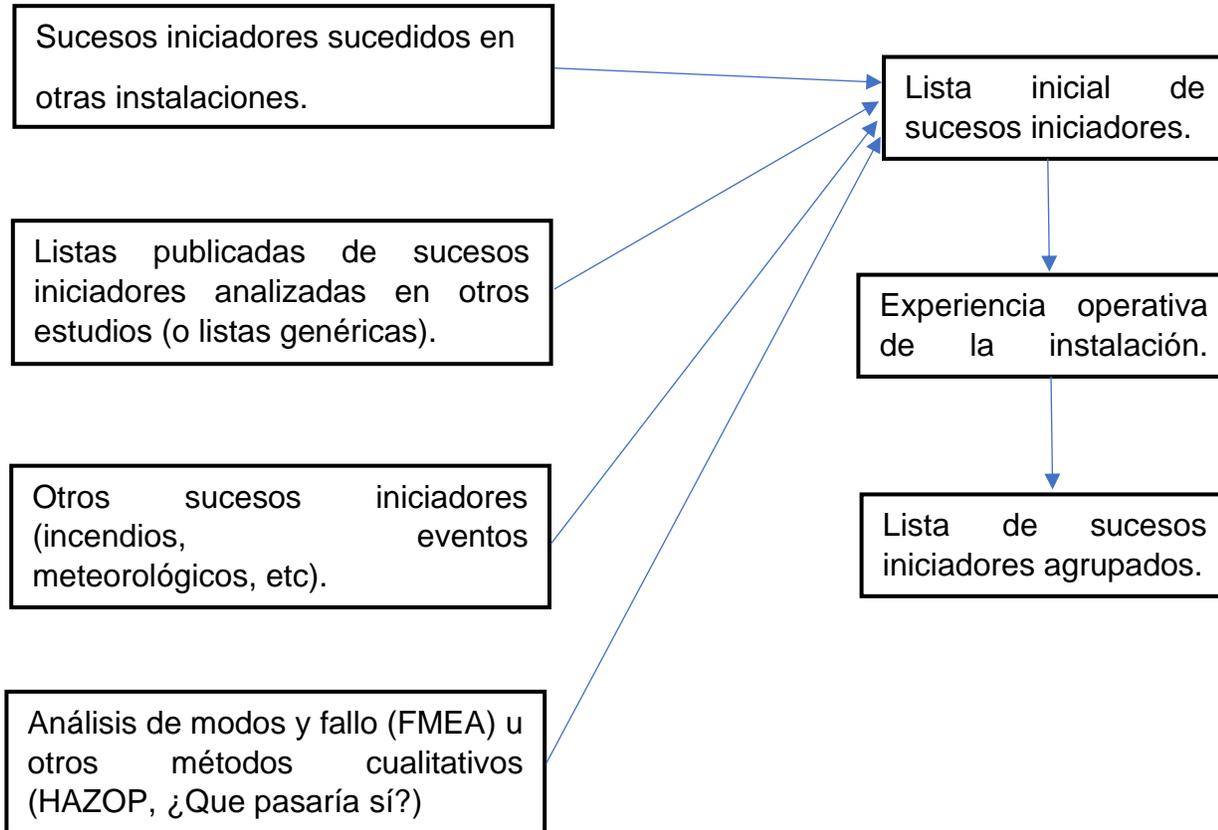


Ilustración 1 Criterios válidos para poder obtener los sucesos iniciadores para cada práctica.

14. Para los errores humanos se deberá considerar la probabilidad de estos atendiendo a su naturaleza y se deberá multiplicar por el número de veces que se realiza la tarea. La frecuencia puede calcularse utilizando la siguiente ecuación:

$$f = P_{EH} \times f_h$$

Donde P_{EH} =probabilidad de error humano por tarea,
 f_h =frecuencia anual con que se realiza la tarea.

Frecuencia cualitativa	Acrónimo	Probabilidad de Ocurrencia del iniciador	Número de sucesos por año
Alta	f_A	$P \geq 1/10$	Mas de 50 por año $F \geq 50$
Media	f_M	$1/1000 < P < 1/10$	Entre 1 y 50 por año $1 \leq F < 50$
Baja	f_B	$1/100000 < P < 1/1000$	Entre 1 por año y 1 cada 100 años $0.01 \leq F < 1$
Muy Baja	f_{MB}	$P < 1/100000$	Menos de 1 cada 100 años $F < 0.01$

Tabla 2 Criterios para la asignación de los niveles de frecuencia

Análisis de la magnitud de las consecuencias (C) asociadas a cada suceso iniciador

15. Para asignar los niveles de consecuencias (C) se parte de suponer que ya ha ocurrido el suceso iniciador y coincidentemente han fallado todas las barreras. Los sucesos iniciadores identificados pueden tener consecuencias para trabajadores, pacientes y público, según sea la práctica a realizar, aunque con diferente impacto en el caso de los trabajadores, ya que éstos pueden recibir dosis considerablemente más altas.

Consecuencias para trabajadores y público:

16. Muy altas, catastróficas o muy graves (C_{MA}): Son aquellas que provocan efectos deterministas severos, siendo mortales o causantes de daño permanente que reduce la calidad de vida de las personas afectadas.
17. Altas o graves (C_A): Son aquellas que provocan efectos deterministas, pero no representan un peligro a la vida y no producen daños permanentes a la calidad de vida.
18. Medias o moderadas (C_M): Son aquellas que provocan exposiciones anómalas (o no previstas como normales, es decir, superan las restricciones de dosis o el límite de dosis establecidos en regulaciones) que están por debajo de los umbrales de los efectos deterministas. Solo representan un aumento de la probabilidad de ocurrencia de efectos estocásticos.
19. Bajas (C_B): No se producen efectos sobre los trabajadores y público, pero se degradan las medidas de seguridad.

Consecuencias para pacientes:

20. Si las prácticas a realizarse son del tipo médico, se debe incluir a los pacientes dentro del presente análisis del cual se describen las escalas de consecuencia a continuación.
21. Muy altas, catastróficas o muy graves (C_{MA}): Ocasionan muertes o daños limitantes a varios pacientes. Se asume que las magnitudes de los errores de dosis son superiores a 25% respecto a la dosis prescrita. Pueden ser por subdosis o sobredosis.
22. Altas o graves (C_A): Ocasionan la muerte o daños limitantes a un solo paciente, afectando a todo o gran parte del tratamiento. Se incluyen también en este nivel las exposiciones que afectan a múltiples pacientes cuyos errores de dosis están entre el 10 y 25% respecto a la dosis prescrita (incluyendo 25%).
23. Medias o moderadas (C_M): Clínicamente no ponen en riesgo la vida del paciente, son exposiciones que afectan a un paciente en una sesión de tratamiento.
24. Bajas (C_B): Disminución de la defensa en profundidad. No provocan desviaciones de dosis.

Análisis de las Defensas (P) en Profundidad: Barreras y Reductores

25. Todo suceso iniciador que se identifique debe ser analizado para evaluar la idoneidad de las defensas existentes destinadas para evitar, prevenir, detectar, controlar y mitigar potenciales accidentes.
26. Las defensas de seguridad que resulten del análisis estarán dirigidas a reducir la frecuencia del suceso iniciador, detectar y controlar la ocurrencia del accidente y reducir la secuencia de los mismos. Al identificar las defensas, será necesario clasificar las mismas dependiendo de su robustez, como enclavamientos, alarmas y procedimientos.
27. Es necesario distinguir que existen tres tipos de defensas atendiendo al momento en que estas actúan:

- 27.1. Las defensas diseñadas para actuar antes que ocurra el suceso iniciador se clasificarán como reductores de frecuencia. Este tipo de defensa es la más preventiva de todas, debido a que impiden que ocurran los eventos que desencadenan el accidente.
- 27.2. Las defensas diseñadas para actuar antes de que ocurra el accidente y después del suceso iniciador se clasificarán como barreras. Estas barreras son muy importantes, porque en gran medida contribuyen a que los sucesos no desencadenen en un accidente, sin embargo, su fallo o indisponibilidad por lo general se mantienen ocultos hasta que ocurren los iniciadores.
- 27.3. Las defensas diseñadas para actuar después que ha ocurrido el accidente se clasificarán como reductores de consecuencia (mitigadores). La importancia de este tipo de barreras es más significativa en la medida en que aumenta la severidad de las consecuencias derivadas del suceso iniciador de accidente.

Criterios para la asignación de los niveles de probabilidad

28. La probabilidad de fallo de las defensas debe ser evaluada cuantitativamente o cualitativamente y ello estará dado por el número existente de estas y por su robustez, mientras mayor sea el número de las defensas, menor será la probabilidad de fallo de las defensas y mientras mayor sea la robustez de las mismas menor será su probabilidad de fallo. Los niveles de probabilidad de fallo asociados al número de barreras de seguridad son:
 - 28.1. Alta (P_A): No hay ninguna barrera de seguridad
 - 28.2. Media (P_M): Hay una o dos barreras de seguridad
 - 28.3. Baja (P_B): Hay tres barreras de seguridad
 - 28.4. Muy baja (P_{MB}): Hay cuatro o más barreras de seguridad

Formas de combinar las variables:

29. La matriz de riesgo es una representación de todas las combinaciones de los niveles de f , P y C , y del nivel resultante de riesgo. El nivel de riesgo (R) se obtiene combinando los diferentes niveles de las variables independientes, es decir la frecuencia del suceso iniciador (f), la probabilidad de fallo de las defensas previstas (P) y la severidad de las consecuencias (C), se obtiene mediante la ecuación:

$$R = f \times P \times C$$

30. El método por seguir para efectuar las combinaciones sigue los siguientes pasos:
 - 30.1. Primero se combinan dos variables independientes y el resultado se combina a su vez con la tercera variable, dando así el nivel de la variable dependiente, es decir el nivel de Riesgo.
 - 30.2. Si se combinan variables del mismo nivel, por ejemplo "Bajo", la combinación resultante tendrá el mismo nivel "Bajo".
 - 30.3. Si se combinan variables, de dos niveles diferentes contiguos, por ejemplo "Medio" y "Alto", el nivel resultante será el nivel más conservador, en este caso. Alto.
 - 30.4. Si se combinan variables, de dos niveles distintos no contiguos, por ejemplo "Bajo" y "Alto", el nivel resultante será el nivel intermedio entre ambos. Por ejemplo, en este caso, "Medio".
31. Se puede ver la tabla de combinaciones para la determinación de los riesgos revisando la tabla de los anexos, *ANEXO 8: Matriz de Riesgos*.

Evaluación cualitativa del riesgo asociado a cada secuencia accidentes:

32. El nivel de riesgo resultante puede ser Muy Alto (RMA), Alto (RA), Medio (RM), Bajo (RB). Este proceso se realiza para cada uno de los sucesos iniciadores postulados. Es importante

comprender que el resultado de la aplicación de la metodología se obtienen niveles de riesgo y no valores de riesgo.

Criterios para evaluar la aceptabilidad del riesgo:

33. Aplicando la metodología de la Matriz de Riesgo se realiza una clasificación de todas las secuencias accidentales en los diferentes niveles de riesgo, estos resultados forman un primer cribado o filtrado que permite identificar las secuencias de riesgo Muy Alto (RMA) y Alto (RA). Las secuencias con niveles de riesgo Medio (RM) y Bajo (RB) pueden excluirse para otros tipos de análisis posteriores atendiendo el enfoque conservador del método y a los criterios aceptabilidad de riesgo que se muestran en la Ilustración.

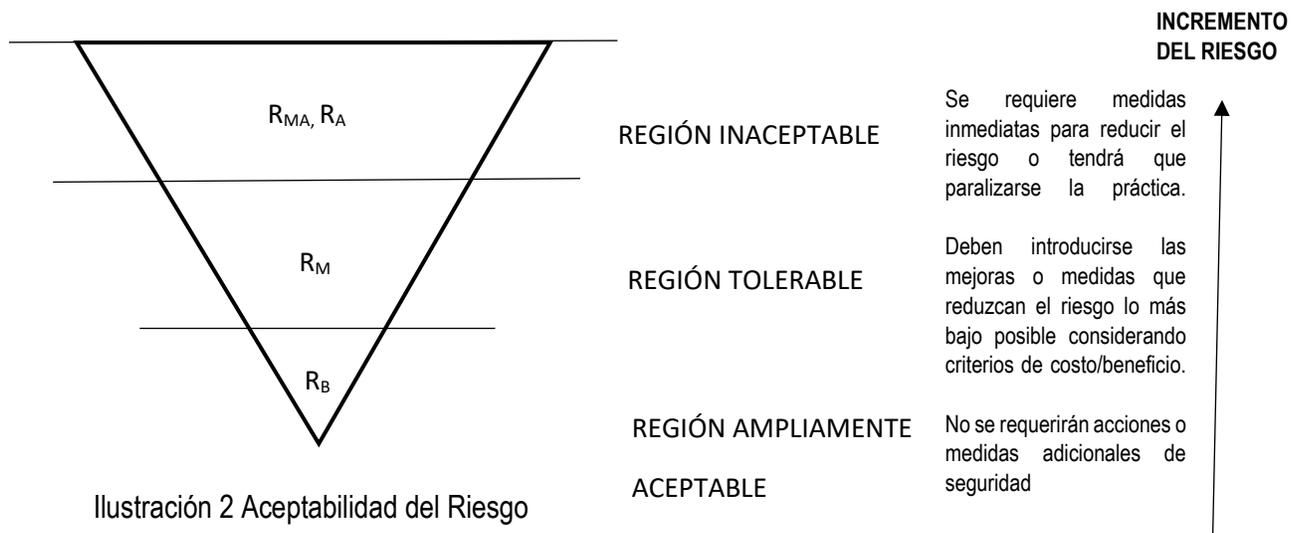


Ilustración 2 Aceptabilidad del Riesgo

Gestión y reducción del riesgo:

- 34. Para aquellas secuencias accidentales que tengan un riesgo inaceptable, se deberán evaluar las acciones más efectivas para disminuir el riesgo:
 - 34.1. Implementar nuevas barreras
 - 34.2. Implementar nuevos reductores de frecuencia
 - 34.3. Implementar nuevos reductores de consecuencia, especialmente
- 35. Cuando se seleccione implementar defensas nuevas (barreras, reductor de frecuencia o consecuencia) se recomienda reevaluar los riesgos siguiendo la secuencia que se muestra en la Ilustración 3. De igual manera al implementar dichas defensas nuevas, se debe evaluar la efectividad de estas susceptible a la mejora que se pretenden introducir.

Aplicación de la metodología:

- 36. Para evaluar el riesgo empleando cualquiera de los métodos utilizados se sugiere seguir los siguientes pasos:
 - 36.1. Definir las etapas para cada práctica en un flujograma.
 - 36.2. Para cada etapa de la práctica, generar una lista de sucesos iniciadores de accidentes, indicar quienes son las posibles personas afectadas a los mismos y ordenarlos en una tabla. En una columna se coloca la "Etapa", en otra columna "Suceso Iniciador" y en otra columna "Personas afectadas".

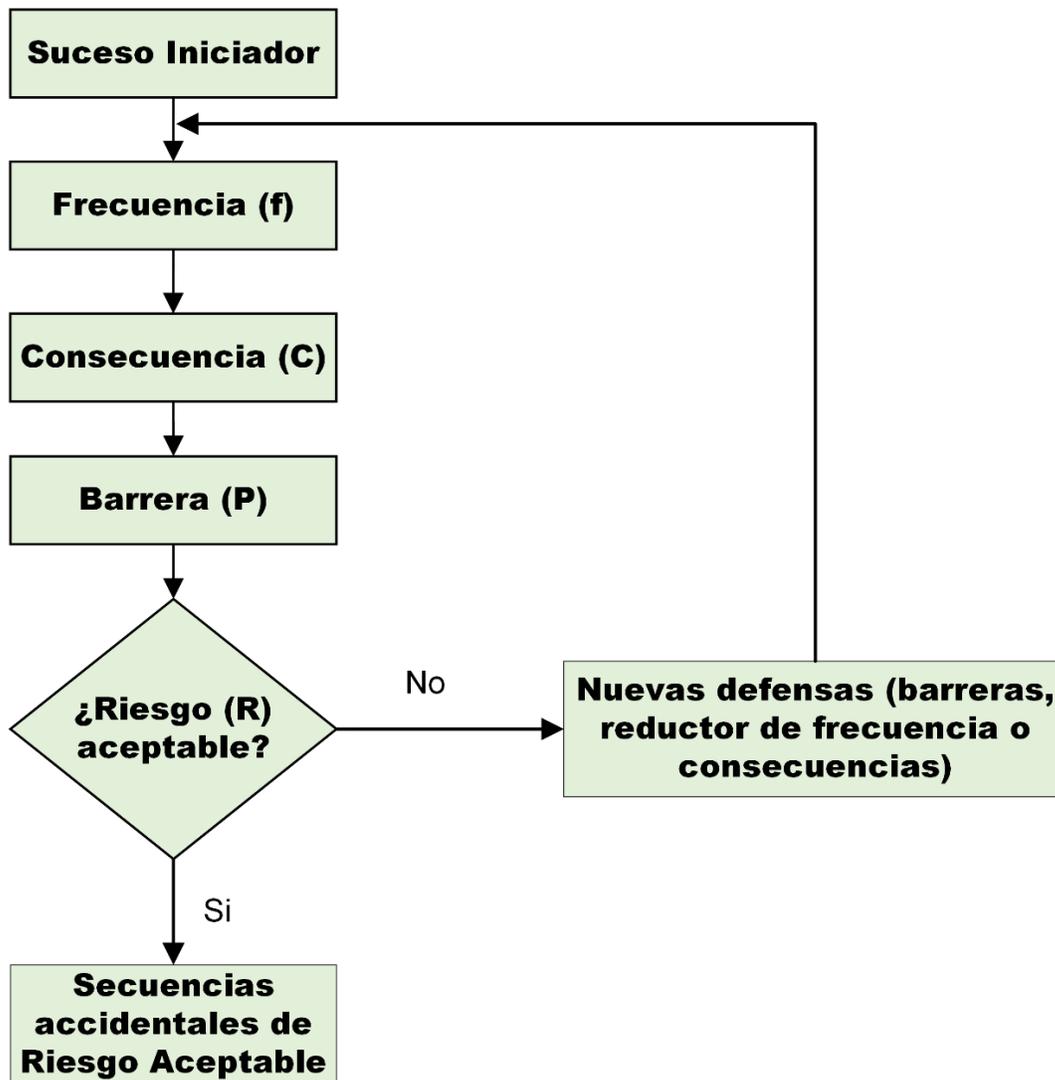


Ilustración 3 Proceso para Implementar Nuevas Defensas

- 36.3. Para todas las etapas y para cada uno de los sucesos iniciadores: evaluar la frecuencia de ese suceso iniciador (f), identificar todas sus barreras y defensas evaluando la probabilidad de fallo (P), y evaluar las consecuencias de este (C). Luego se evalúa el riesgo para cada suceso iniciador utilizando la fórmula: $R=f \times P \times C$, usando los criterios definidos en la Tabla de Matriz de Riesgo mostrada en los anexos (ANEXO 8). Luego se ordenan las cuatro variables en cada columna como "f", "P", "C" y "R" en una tabla.
- 36.4. De la tabla anterior, se realiza un conteo en la columna "Riesgo (R)" de la cantidad de sucesos iniciadores según su riesgo, es decir, se cuentan cuantos sucesos son muy altos, altos, medios y bajos; y conforme a los resultados, se tabulan y se visualizan en una tabla.
- 36.5. Los datos de la tabla del paso anterior se grafican en un diagrama de barras. En el eje horizontal se colocan, de izquierda a derecha, los niveles de riesgo desde muy alto hasta nivel bajo. En el eje vertical se colocan la cantidad de sucesos iniciadores según su nivel de riesgo.

- 36.6. Se toman los sucesos iniciadores con nivel de riesgo muy alto y alto; los sucesos iniciadores de nivel de riesgo medio y bajo se descartan. Se agregan barreras y/o reductores de frecuencia y/o reductores de consecuencias para cada uno de estos sucesos iniciadores hasta llegar a un nivel de riesgo aceptable.
- 36.7. Se calcula la dosis en un escenario con condiciones normales de trabajo para trabajadores ocasionalmente expuestos, público y/o pacientes, según sea la práctica por evaluar.
- 36.8. Se calcula la dosis en un escenario con condiciones potenciales de trabajo para trabajadores ocasionalmente expuestos, público y/o pacientes, según sea la práctica por evaluar.

CAPÍTULO V

PLAN DE EMERGENCIAS RADIOLÓGICAS

37. El Plan de Emergencias Radiológicas (de este punto en adelante abreviado como PE) se elabora teniendo en cuenta la estructura documental y requisitos que se mencionan a continuación:

37.1. Título

En la portada del PE se debe incluir el título, fecha de aprobación, número de la versión, nombre, apellido y firma de los encargados de elaboración y aprobación.

37.2. Índice

Presentar en forma ordenada todos los puntos que contienen el PE, con la numeración de páginas correspondiente.

37.3. Objetivo

Descripción del objetivo del PE, por ejemplo “El Plan de Emergencias Radiológicas de la “INSTALACIÓN H” es la base para la planificación de actividades en caso ocurra un suceso radiológico. La finalidad de las actividades consta en mitigar las consecuencias de cualquier posible suceso y tanto al personal de la instalación, como a pacientes, público y el medio ambiente.

37.4. Alcance

Se define y especifica el ámbito de aplicación del PE, definiendo también los posibles actores involucrados tanto dentro de la instalación, como agentes o cuerpos externos que puedan intervenir.

37.5. Glosario

Términos, definiciones, acrónimos que se emplean en el PE.

37.6. Descripción de la instalación

Se debe describir ubicación de la instalación y su objeto social, así como la población circundante a ella. Además de ello se deberá de mencionar o ubicar áreas de importancia (según aplique) para la atención de emergencias como lo son, área de evaluación personal, ubicación de fuentes o equipos, vías de acceso, área de concentración de unidades respondedoras, área de recepción de afectados, área de atención médica, área de descontaminación, puntos de reunión, vías de evacuación,

37.7. Apreciación General del Riesgo

La apreciación general del riesgo se basa en los resultados de la evaluación de seguridad y de los estudios de riesgos realizados e incluye la caracterización de los peligros y los elementos vulnerables de la instalación.

37.7.1. Caracterización de los peligros

Se debe exponer brevemente los sucesos iniciadores que pueden generar una situación de emergencia radiológica tales como: fallo de las barreras y sistemas de seguridad y sus consecuencias, las posibles vías de exposición y las zonas o áreas donde puedan ocurrir.

Se debe incluir la influencia de los posibles errores humanos, peligros de origen natural (ciclón, sismo, tormenta eléctrica) y de origen técnico (incendio, explosión en la ocurrencia de sucesos o emergencias).

Dentro de los posibles sucesos se puede contemplar: daño, pérdida, robo y deshermetización de fuentes o fuga de material radiactivo; incendios o explosiones en la instalación; accidentes durante transporte de material; actos delictivos que involucren fuentes; sobreexposiciones graves (contemplar médicas, ocupacionales, y/o de público); aparición de una fuente; entrada o permanencia inadvertida en recinto de irradiación; detección de síntomas médicos de exposición a las radiaciones.

En el ANEXO 1 se incluyen una lista de posibles sucesos causados por fenómenos naturales, para instalaciones y prácticas.

37.7.2. Elementos vulnerables

Descripción de los elementos que pueden ser sensibles o frágiles a los peligros caracterizados y que pueden aumentar la magnitud del riesgo de ocurrencia de sucesos radiológicos. Se deben incluir vulnerabilidades físicas (estructurales, estado técnico, ventanas, puertas, etc), organizacionales (organización, cumplimiento de medidas de seguridad, barreras físicas, señalización), educacionales (preparación del personal que trabaja con las fuentes o equipos generadores, los más cercanos a las áreas con la fuentes o equipos, conductas y medidas a tomar y ejecutar durante un suceso), funcionales (elementos que influyen en el funcionamiento del equipo como suministro eléctrico, abastecimientos, etc).

37.8. Preparación para Emergencias Radiológicas

37.8.1. Clasificación de situaciones de emergencia

A los fines de activación de respuesta, es prudencial clasificar cada una de las situaciones de emergencia, teniendo en cuenta cada uno de los sucesos radiológicos que se proveen en el PE, según los siguientes criterios:

Tabla 3 Clasificación de Situaciones de Emergencia

Nivel	Nombre	Descripción y Consecuencias
1	Alerta	Es la ocasionada por un suceso que puede motivar problemas menores en sistemas o componentes de seguridad, que de no aplicarse medidas de defensa en profundidad pudieran convertirse en un incidente. Su ocurrencia no conlleva a exposiciones adicionales ni a dosis efectiva total Hp(10) por encima de límites operacionales.

2	Incidente	Es el ocasionado por un suceso que involucra un peligro potencial y que pudiera convertirse en una Emergencia. Durante su ocurrencia el representante legal de brinda una respuesta efectiva sin la participación de instalaciones interventoras. Pudiera haber deshermetización de fuentes, derrames o contaminación de pequeñas áreas; dosis efectiva total para el público por encima de 1 mSv, y para los trabajadores, por debajo de los límites operacionales. Las descargas de materiales radiactivos por encima de los niveles autorizados.
3	Emergencia	Es la ocasionada por un incidente que involucra una situación real y que potencialmente puede llegar a una Emergencia Mayor. Se requiere de la participación de instalaciones interventoras, así como la activación de las capacidades creadas en la instalación. Pueden ocurrir exposiciones importantes (dosis efectiva total por encima de los límites de dosis anuales que no superan 100 mSv) que conlleven a lesiones permanentes, tanto para el público, como para el personal de la instalación o los trabajadores de emergencia.
4	Emergencia Mayor	Es la ocasionada por una emergencia que involucra una situación real y que potencialmente puede llegar a una Emergencia General. Se requiere de la participación de las Instituciones que forman parte del Comité de Preparación y Respuesta y sus dependencias. Involucra varias personas del público y el personal de la instalación. Pueden existir lesiones permanentes para el público y personal de la instalación. Se requiere la evacuación total o parcial del personal de la instalación no involucrado en la emergencia y del público. Pueden ocurrir liberaciones importantes de materiales radiactivos muy por encima de niveles autorizados, la pérdida de control sobre la fuente; y contaminación de grandes áreas. La dosis efectiva total Hp(10) de las personas involucradas puede estar en un intervalo entre los 100 mSv y 500 mSv. Los daños pueden alcanzar valores entre el 10-50% del capital de la instalación y puede haber pérdida total de la capacidad funcional inmediata de la instalación.
5	Emergencia General	Es la que provoca un daño muy importante a la instalación, que dará lugar a liberaciones

	<p>importantes de materiales radiactivos fuera de la instalación, exposición elevada a la radiación o detección de niveles de radiación fuera del emplazamiento, que requieran la aplicación de medidas protectoras urgentes La dosis efectiva total Hp(10) de las personas involucradas puede superar los 500 mSv.</p> <p>Se requiere una amplia ayuda externa, se activa el 100 % de las capacidades de la organización de respuesta. Comité de Preparación y Respuesta dirige las acciones de respuesta. Puede existir una cantidad apreciable de lesionados, tanto del personal de la instalación, como del público. Alta posibilidad de ocurrencia de efectos determinísticos y consecuencias a largo plazo para el medio ambiente.</p>
--	--

37.8.2. *Sistemas de vigilancia y alerta temprana*

Se deben describir los sistemas de vigilancia y alerta temprana que existen en la entidad para la detección de situaciones de emergencia radiológica, incluyendo el estado de operatividad y conservación de estos. En el caso de la no existencia de éstos se debe de especificar a la empresa o prestador de servicios con el cual se realiza la cooperación para suplantar

37.8.3. *Logística y recursos para la respuesta a las emergencias radiológicas*

Se deben referir cada uno de los recursos necesarios, tanto de la instalación, como de los que cooperan con esta en el cumplimiento de las medidas reflejadas en el PE.

La selección de los recursos para afrontar una emergencia radiológica, tomando en cuenta que estos funcionen adecuadamente en las condiciones postuladas (condiciones radiológicas de trabajo y ambientales) y que sean compatibles con otros procedimientos y equipos destinados a la respuesta (como los sistemas y frecuencias de comunicación de otras organizaciones de respuesta, los instrumentos y métodos de vigilancia, etc.).

Se deben describir el programa de mantenimiento de los equipos y medios destinados a la respuesta,

37.8.4. *Capacitación y entrenamiento*

Deberá contemplarse hacer referencia en el PE, sobre las capacitaciones y entrenamientos (que son parte del plan de capacitación presentados en el PPR) con relación a la preparación y respuesta a emergencias.

Se debe contemplar programa de ejercicios y simulacros que deben abarcar todas las funciones necesarias para la ejecución de la respuesta a emergencia, incluyendo participaciones de entidades interventoras.

Para las capacitaciones que se incluyan al Plan de Capacitaciones del PPR, se deberán tomar en cuenta la experiencia de la aplicación del PE, sucesos que haya ocurrido en instalación de categoría similar, y de los hallazgos y enseñanzas de los simulacros y ejercicios.

37.9. Respuesta a Emergencia

37.9.1. Notificación y activación de la organización de respuesta

Se debe exponer como anexo al PE, en forma de diagrama de bloques, el esquema y el orden de ejecución del plan de aviso en caso de situaciones de emergencia, para toda organización de respuesta, tanto interno como externo. Debe quedar los puntos de contacto de las entidades interventoras, como número de teléfono o cualquier otro dato de interés.

Se debe definir un punto de contacto de la instalación el cual deberá estar disponible las 24 horas del día para gestionar el flujo de información durante la ocurrencia de cualquier suceso radiológico.

El plan de aviso interno deberá contemplar que el aviso se realice de manera escalonada, desde el primer elemento del referido diagrama que detecte o tenga conocimiento del suceso, hasta el último elemento de dicho esquema que proceda, siguiendo el criterio de garantizar doble aviso a cada elemento.

Se deben especificar los medios y métodos, principales y complementarios para efectuar las comunicaciones y notificaciones a las autoridades pertinentes y órganos que se requiera según el caso, dentro de estos incluida la Autoridad Reguladora.

La notificación a la autoridad reguladora deberá ser en principio de forma telefónica, se confirmará por otro medio complementario por escrito. La notificación debe brindar la información que se muestra en el ANEXO 2.

Deben exponer claramente todas las acciones y procedimientos para llevar a cabo la activación de cada nivel de la estructura de la organización de respuesta a emergencias radiológicas. Se deben describir, además, las actividades que se realizan en caso de modificación de la clasificación de emergencias radiológicas.

37.9.2. Medidas de respuesta

Se deben relacionar las principales medidas de respuesta (inmediatas y de seguimiento) que se adoptarán a cada suceso radiológico previsto en el PE y para cada grupo de la estructura de emergencias considerado. Las medidas deben de ser concretas, de forma que faciliten la actuación inequívoca del personal y que este recibí las mínimas dosis posibles durante su actuación.

Para definir las medidas de respuesta se deben tener en cuenta los niveles de intervención operacionales que se establecen en el ANEXO 3. Una de las primeras medidas de respuesta debe ser la delimitación del área afectada por el suceso. El perímetro de seguridad se debe definir según lo establecido en el ANEXO 4.

Las medidas de respuesta previstas se expondrán para cada suceso radiológico que se tenga previsto. En el cual se deberá exponer con el formato mostrado en la Tabla 2:

Tabla 4 Medidas de Respuesta

No.	Medidas	Plazo	Responsable	Ejecutor	Aseguramiento
1.	Sucedo Radiológico 1 (Ejemplo: Pérdida de Fuente)				
2.	Sucedo Radiológico 2 (Ejemplo Irradiación incorrecta de un paciente)				

De igual forma se debe mencionar en un ámbito general el proceso para actuar ante sucesos que no fueron previstos en el PE. Algunas de estas medidas generales a contemplar pueden incluir las siguientes:

- aislamiento de la fuente y prevención de la ingestión inadvertida: incluye la delimitación de las zonas afectadas y la instrucción a las personas que pueden resultar expuestas o la advertencia al público en caso de fuente perdida o robada;
- empleo de blindajes;
- evacuación oportuna en los locales o la instalación: se deben establecer
- disposiciones para grupos especiales de población (personas con discapacidad o enfermos o niños y personas de la tercera edad);
- uso de protección respiratoria y ropa protectora para el personal que realiza
- operaciones de respuesta;
- descontaminación de individuos, tanto para personal que participa en la respuesta como para miembros del público; y
- manejo médico de lesionados y personas expuestas.

Dichas medidas tendrán eficacia con la inmediatez de su aplicación.

Debe describir el modo en que se coordinará la transición de responsabilidades, en función de la llegada de entidades interventoras a la escena del suceso.

37.9.2.1. *Información al Público*

Descripción de las acciones que tomará la entidad para proporcionar rápidamente la información sobre el riesgo y medidas de protección que deben cumplirse tras la detección o declaración de una emergencia.

37.9.2.2. *Protección de Trabajadores de Emergencia*

Descripción de acciones y procedimientos necesarios para evaluación, control y registro de las dosis de trabajadores de emergencias, suministro de equipo de protección persona y dosímetros de lectura directa.

Se deberá tener en cuenta los niveles orientativos para trabajadores de emergencias que se establecen en el ANEXO 5, así como riesgos no radiológicos en la mitigación de consecuencias.

En áreas donde es posible que la dosis supere los 500 mSv. Se debe tener el conocimiento de los trabajadores de emergencia involucrados para su participación voluntaria durante las mismas.

37.9.2.3. *Asistencia Médica*

Descripción de las acciones que se pueden llevar a cabo para asistencia médica. Se debe incluir cuando proceda: primeros auxilios, descontaminación, traslado de heridos, apoyo psicológico, tratamiento inicial de personas afectas por la emergencia.

Dentro de la entidad se debe describir las acciones que se llevarán a cabo para recopilar la información necesaria para reconstruir la dosis tras una grave

exposición. Entre la información se debe incluir estimaciones de dosis, fotografías y diagramas de la instalación, descripción de la fuente de exposición, descripción detallada de las circunstancias de exposición, lecturas de dosímetros, descripción de cualquier síntoma clínico temprano, entre otros.

37.9.2.4. *Fin de Emergencia y Medidas de Recuperación*

Exposición de los criterios para determinar cuando se finaliza la emergencia y se inicia fase de recuperación en la instalación (o locales afectados). Se deberá definir un responsable para declarar el fin de la emergencia, mismo cual deberá comunicar a los actores involucrados como trabajadores, primeros respondedores, Autoridad Reguladora, etc.

Una vez finalizada la emergencia radiológica, la instalación es responsable de presentar en 30 días hábiles un informe ajustado a los contenidos mostrados en el ANEXO 6.

La instalación deberá realizar una investigación para determinar las causas que conllevaron a la emergencia y se debe establecer el seguimiento de las acciones correctoras propuestas.

37.10. **Organización de la Respuesta**

Incluir como anexo un diagrama de bloques con los componentes de la organización de dirección de la respuesta (secciones, grupos, equipos o cargos) con una breve descripción de las responsabilidades por cada bloque. Debe mostrar por cada bloque la composición del personal necesario para desarrollar las funciones correspondientes, así como la interacción con distintos grupos funcionales que la integran y con entidades interventoras que participen. Se deben especificar las responsabilidades del representante legal de la instalación como Director de la emergencia y las líneas de mando de la organización de respuesta para emergencias radiológicas.

Aún en los casos que la respuesta supere las capacidades de la instalación y trascienda los límites de la instalación el representante legal será el responsable por las fuentes de radiación.

37.11. **Organización de la Cooperación**

Debe enlistar todas las organizaciones que pueden intervenir en la respuesta a emergencias, así como un acta de cooperación con las mismas. Estas actas de cooperación deberán de incluir la responsabilidad de cada una de las partes.

37.12. **Referencias**

Indicar los documentos que fueron considerados para la base de la elaboración del PE.

37.13. **Lista de Distribución**

Enumerar a las personas y organizaciones a las cuales será distribuido el PE.

ANEXOS:

Anexo 1: Ejemplos de eventos naturales que pueden incidir en la ocurrencia de situaciones de emergencias radiológicas

PRÁCTICA	EVENTO NATURAL	IMPACTO POTENCIAL
Fabricantes o usuarios de la industria, medicina o investigación científica		
Fabricación de radiofármacos y radiofarmacia	Ciclones Tropicales, Tornados, Terremotos, Tsunamis, Incendios	Daño a las estructuras que contengan materiales o desechos radiactivos. Diseminación de la contaminación radiactiva. Potencial contaminación radiactiva y química.
	Derrumbes, Intensas lluvias, Inundación.	Enterramiento de sustancias radiactivas y/o contenedores con material radiactivo.
Fuentes		
Esterilización, Irradiadores Radiografía industrial Teleterapia Braquiterapia de alta y media tasa de dosis Fuentes de Categoría 1 y 2	Ciclones Tropicales, Tornados, Terremotos, Tsunamis, Incendios	Potencial pérdida de blindaje de Fuentes peligrosas: falla de mecanismo obturador de blindaje del haz, fuente atascada; falla de la piscina de blindaje de irradiadores; fuentes expulsadas desde sus contenedores de blindaje. Pérdida, enterramiento o desaparición de fuentes. Daño de blindaje adjunto. Accidente de transporte. Daño al contenedor de la fuente radiactiva
	Derrumbes, Intensas lluvias, Inundación.	Potencial pérdida de blindaje de fuentes peligrosas: falla de mecanismo obturador de blindaje del haz, fuente atascada; falla de la piscina de blindaje de irradiadores; fuente expulsada desde su contenedor de blindaje. Pérdida, enterramiento o desaparición de fuentes. Accidente de transporte.
Calibradores Perfilaje de pozo Fuentes de Categoría 3	Ciclones Tropicales, Tornados, Terremotos, Tsunamis, Incendios, Derrumbes, Intensas lluvias, Inundación.	Pérdida, enterramiento o desaparición de fuentes. Fuentes expulsadas desde el contenedor de blindaje. Accidente de transporte. Daño al contenedor de la fuente radiactiva.
Medidores Nucleares Productos de Consumo Fuentes de Categoría 4 y 5	Ciclones Tropicales, Tornados, Terremotos, Tsunamis, Incendios, Derrumbes, Intensas lluvias, Inundación.	Esparcimiento o desplazamiento de fuentes selladas. Pérdida, enterramiento o desaparición de fuentes. Accidente de Transporte. Daño al Contenedor de la Fuente Radiactiva.
Uso o almacenamiento de fuentes peligrosas	Ciclones Tropicales, Tornados, Terremotos, Tsunamis, Incendios	Potencial pérdida de blindaje de Fuentes peligrosas: Fallo de mecanismo obturador de blindaje de haz, fuente atascada, falla de piscina de blindaje de irradiadores, fuente expulsada desde su contenedor de blindaje. Pérdida, enterramiento o desaparición de fuente. Daño de blindaje adjunto Daño al contenedor de la fuente radiactiva
	Derrumbes, Intensas lluvias, Inundación	Esparcimiento o desplazamiento de fuentes selladas. Pérdida, enterramiento o desaparición de fuente. Daño al contenedor de la fuente radiactiva

Anexo 2: Notificación de Emergencia Radiológica

Notificación de Emergencia Radiológica

Persona que notifica: _____

Punto de contacto de la instalación: _____

Fecha y Hora de notificación: _____

Fecha y Hora de ocurrencia del suceso: _____

Nombre de la Instalación: _____

Localización del Suceso Radiológico: _____

Entidades Interventoras: _____

Breve descripción del suceso radiológico incluyendo como fue descubierto:

Clasificación de la emergencia radiológica:

Existe público involucrado: Si No

¿Qué asistencia urgente se requiere?

Situación actual:

¿El acceso es controlado? Si No

Acciones y medidas para evitar la exposición:

DETALLE DE LA FUENTE

Radionucleido(s):

Actividad (Ci/Bq):

Sellada: Encapsulada Plana Lápiz Otras No Sellada

Forma química:

Forma Física:

Equipo Generador: _____ kV _____ mA

TIPO DE EQUIPAMIENTO

- Teleterapia
- Braquiterapia
- Irradiador
- Medidor de Nivel
- Detectores de Humo
- Medicina Nuclear
- Inspección de Bultos
- Rayos X
- Medidor de Espesor
- Medidor de Densidad/Humedad
- Chatarras
- Rayos X Veterinario
- Fuente no sellada
- Desecho Radiactivos
- Radiotrazadores
- Otros

NATURALEZA DE LA EMERGENCIA

- Aparición de fuente
- Aparición de contaminación
- Fuente sin blindaje
- Fuente dañada
- Pérdida de control sobre fuente peligrosa
- Derrame en laboratorio
- Transporte de materiales radiactivos
- Dispersión de materiales radiactivos
- Fuego
- Hurto
- Pérdida de blindaje
- Deterioro de la seguridad
- Fuente expuesta desde el contenedor
- Daño a la instalación
- Tráfico Ilícito
- Dispositivo de dispersión radiológica (DDR)
- Emergencia por fenómeno natural severo
- Otros

RASTREO

Última vez que se conoce que la fuente estuvo segura:

De donde procede:

Propietario de la fuente:

ASPECTOS RADIOLÓGICOS

Dosis significativa de radiación Si No

Peligro de inhalación Si No

Contaminación de áreas Si No

Contaminación del medio ambiente Si No

Dispersión potencial Si No

Elaborado por: _____

Fecha: _____

Firma:

Anexo 3: Niveles de intervención operacionales (NIO) en emergencias radiológicas basados en las mediciones de tasas de dosis ambientales producto de radionúclidos emisores gamma

Principales condiciones de exposición	NIO	Principales acciones
Radiación externa de una fuente puntual	100 μ Sv/h	Aislar el área
Radiación externa del terreno contaminado en una pequeña área o en el caso de una evacuación no complicada.		Recomendar la evacuación del área acordonada Controlar el acceso y la salida
Radiación externa del terreno contaminado en una gran área o en el caso de una evacuación muy complicada	1 mSv/h	Recomendar evacuación o refugio substancial
Radiación externa del aire contaminado con radionúclido(s) desconocido(s)	1 μ Sv/h	Aislar el área (si es posible) Recomendar la evacuación del área acordonada o ubicada a favor del viento en el caso de un área abierta
Tasa de dosis gamma del terreno contaminado	1 μ Sv/h	Restricción de alimentos
Tasa de dosis gamma a 10 cm de la superficie corporal (ropa)	0.3 μ Sv/h	Descontaminación de personas

Anexo 4: Perímetro de Seguridad

Características del suceso	Radio inicial de la zona de acordonamiento interior (distancia de seguridad)
Bultos radiactivos no dañados o productos de consumo tales como detectores de humo, etc.	Inmediatamente alrededor del bulto o producto de consumo
Bultos radiactivos dañados, fuentes radiactivas desconocidas (dañadas o intactas) desprovistas de blindaje o derrames de sustancias radiactivas	30 m alrededor del bulto, fuente radiactiva o derrame; lecturas de: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Tasa de dosis ambiental de 100 $\mu\text{Sv/h}$ ▪ Depósitos gamma/beta de 1000 Bq/cm^2 ▪ Depósito alfa de 100 Bq/cm^2
Derrame importante de una fuente potencialmente peligrosa	100 m circundantes
Incendio, explosión o humos relacionados con una fuente potencialmente peligrosa, derrame de plutonio.	Radio de 300 m o lecturas de: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Tasa de dosis ambiental de 100 $\mu\text{Sv/h}$ ▪ Depósitos gamma/beta de 1000 Bq/cm^2 ▪ Depósito alfa de 100 Bq/cm^2
Presunta bomba (posible DDR), explosionada o no explosionada.	Radio de 400 m o más para la protección contra una explosión.
Determinación inicial-dentro de un edificio	
Daño, pérdida de blindaje o derrame relacionado con una fuente potencialmente peligrosa	Zonas afectadas y adyacentes (incluidos pisos superiores e inferiores).
Incendio u otro suceso asociado a una fuente potencialmente peligrosa que puede propagar materiales en todo el edificio (a través de sistemas de ventilación por ejemplo).	Edificio completo y distancia exterior apropiada según se indica arriba.
Ampliación basada en el monitoreo radiológico	
Tasa de dosis ambiental de 100 $\mu\text{Sv/h}$	Donde quiera que se midan estos niveles
Depósitos gamma/beta de 1000 Bq/cm^2	
Depósitos alfa de 100 Bq/cm^2	

Anexo 5: Niveles de Orientación de la dosis efectiva total para los trabajadores de emergencia

Tareas	Dosis Efectiva total H _p (10) [mSv]
Medidas para salvar vidas: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Salvamento contra riesgos inmediatos para la vida; presentación de primeros auxilios para lesiones que ponen en riesgo la vida; ▪ Prevención/mitigación de condiciones que podrían poner en riesgo la vida; ▪ Acciones para prevenir efectos determinísticos severos y acciones para prevenir el desarrollo de condiciones catastróficas que podrían afectar significativamente a las personas y el ambiente. 	<500
Medidas para prevenir efectos o lesiones graves para la salud: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Evacuación/protección del público; salvamento contra riesgos potenciales de lesiones graves; ▪ Monitoreo ambiental de zonas pobladas para determinar donde se justifica la evacuación, el refugio o la restricción de alimentos. ▪ Tratamiento inmediato de lesiones graves; descontaminación urgente de las personas ▪ Medidas para prevenir la evolución de situaciones catastróficas; ▪ Prevención o mitigación de incendios; aprehensión de presuntos terroristas; etc. 	<100
Medidas para impedir una dosis colectiva de gran magnitud: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Operaciones cortas de recuperación. ▪ Implementar acciones protectoras urgentes. ▪ Descontaminación localizada si se requiere para proteger al público. ▪ Monitoreo y muestreo ▪ Toma y análisis de muestras ambientales de las zonas pobladas. 	<50
Operaciones de recuperación a largo plazo. Trabajo no directamente relacionado con un accidente.	Orientación para la exposición ocupacional

Anexo 6: Contenidos del informe final de emergencia radiológica

El informe debe elaborarse de manera clara y concisa, evitando las explicaciones largas y utilizando las expresiones de tiempo adecuadas para la mejor comprensión del mismo.

1. Descripción del suceso
 - a. Fecha del suceso
 - b. Detalles de la fuente o equipo generador
 - c. Localización del suceso radiológico
 - d. Eventos(s) iniciador(es)
 - e. Tipo de práctica
 - f. Detalles del suceso: cronología, condiciones que precedieron, causas que dieron origen, factores que contribuyeron.
 - g. Respuesta de los sistemas de seguridad
 - h. Comportamiento de equipo
2. Respuesta al suceso radiológico
 - a. Acciones iniciales.
 - b. Tiempos de las acciones tomadas que permitieron mantener la secuencia de respuesta
 - c. Detallar y evaluar la cronología de la implementación de las acciones de respuesta descritas en el PE asociadas a la cronología de ocurrencia de los eventos del suceso radiológico
 - d. Evaluar la efectividad de la respuesta a emergencias
 - e. Evaluar el comportamiento humano, los errores, y las omisiones
3. Consecuencias para las personas
 - a. Tipo de exposición (externa, contaminación externa, contaminación interna)
 - b. Número de personas involucradas
 - c. Asistencia y seguimiento médico (si los hubiera)
 - d. Consideraciones radiológicas
4. Consecuencias ambientales
 - a. Tipo de contaminación (aire, agua, tierra, alimentos, objetos)
 - b. Resumen del monitoreo realizado y del reconocimiento radiológico
 - c. Criterios para las acciones
 - d. Evacuación de desechos.
5. Evaluación de las dosis
 - a. Magnitud y distribución de las dosis recibidas.
 - b. Comparación de las dosis estimadas con las dosis recibidas por los trabajadores de emergencia y las demás personas involucradas.
6. Conclusiones y recomendaciones
 - a. Detallar las lecciones aprendidas, actividades de seguimiento, recomendaciones para prevenir y evitar la repetición de sucesos similares y la actualización de la respuesta.
7. Figuras, tablas, fotografías
 - a. Incluir las fotografías, tablas y figuras necesarias con vistas a una mejor comprensión del informe

- b. Utilizar términos, abreviaturas, acrónimos y magnitudes en las figuras y las tablas que sean consistentes con las que se utilizaron en el texto principal.

Además de estos términos, se adjunta nombre, apellido, firma, cargo de:

- Persona que elabora
- Participantes
- Persona que aprueba

Al igual como cualquier fecha relevante en el proceso de elaboración.

Anexo 7: Factores Gamma de Radionucleidos Comunes

Nucleido	Factores Gamma		
	$\frac{mSv\ m^2}{GBq\ hr}$	$\frac{mSv\ m^2}{MBq\ hr}$	$\frac{mSv\ m^2}{mCi\ hr}$
Cs-137	---	1.032×10^{-4}	2.85×10^{-3}
Co-60	---	3.703×10^{-4}	1.13×10^{-2}
Ir-192	---	1.599×10^{-4}	3.73×10^{-3}
I-131	---	7.647×10^{-5}	2.02×10^{-3}
Ra-226	---	3.274×10^{-6}	---
Au-198	---	7.880×10^{-5}	---
C-11	1.393×10^{-1}	---	---
N-13	1.394×10^{-1}	---	---
O-15	1.395×10^{-1}	---	---
F-18	1.351×10^{-1}	--	---
Co-57	1.410×10^{-2}	--	---
Ga-67	1.950×10^{-2}	---	---
Ga-68	1.290×10^{-1}	---	---
Mo-99/Tc-99m	3.360×10^{-2}	---	---
Tc-99m	1.410×10^{-2}	---	---
In-111	8.310×10^{-2}	---	---
I-123	3.610×10^{-2}	---	---
I-125	3.770×10^{-2}	---	---
Xe-133	1.430×10^{-2}	---	---
Cs-137/Ba-130	8.210×10^{-2}	---	---
Tl-201	1.020×10^{-2}	---	---

Anexo 8: Matriz de Riesgo

f _A	P _A	C _{MA}	R _{MA}	f _A	f _A	P _A	C _A	R _{MA}	f _A	P _A	C _M	R _A	f _A	P _A	C _B	R _M
f _M	P _A	C _{MA}	R _{MA}	f _M	f _M	P _A	C _A	R _A	f _M	P _A	C _M	R _A	f _M	P _A	C _B	R _M
f _B	P _A	C _{MA}	R _A	f _B	f _B	P _A	C _A	R _A	f _B	P _A	C _M	R _M	f _B	P _A	C _B	R _M
f _{MB}	P _A	C _{MA}	R _A	f _{MB}	f _{MB}	P _A	C _A	R _A	f _{MB}	P _A	C _M	R _M	f _{MB}	P _A	C _B	R _M
f _A	P _M	C _{MA}	R _{MA}	f _A	f _A	P _M	C _A	R _A	f _A	P _M	C _M	R _A	f _A	P _M	C _B	R _M
f _M	P _M	C _{MA}	R _A	f _M	f _M	P _M	C _A	R _A	f _M	P _M	C _M	R _M	f _M	P _M	C _B	R _M
f _B	P _M	C _{MA}	R _A	f _B	f _B	P _M	C _A	R _A	f _B	P _M	C _M	R _M	f _B	P _M	C _B	R _B
f _{MB}	P _M	C _{MA}	R _A	f _{MB}	f _{MB}	P _M	C _A	R _M	f _{MB}	P _M	C _M	R _M	f _{MB}	P _M	C _B	R _B
f _A	P _B	C _{MA}	R _A	f _A	f _A	P _B	C _A	R _A	f _A	P _B	C _M	R _M	f _A	P _B	C _B	R _B
f _M	P _B	C _{MA}	R _A	f _M	f _M	P _B	C _A	R _A	f _M	P _B	C _M	R _M	f _M	P _B	C _B	R _B
f _B	P _B	C _{MA}	R _M	f _B	f _B	P _B	C _A	R _M	f _B	P _B	C _M	R _M	f _B	P _B	C _B	R _B
f _{MB}	P _B	C _{MA}	R _M	f _{MB}	f _{MB}	P _B	C _A	R _M	f _{MB}	P _B	C _M	R _M	f _{MB}	P _B	C _B	R _B
f _A	P _{MB}	C _{MA}	R _A	f _A	f _A	P _{MB}	C _A	R _M	f _A	P _{MB}	C _M	R _M	f _A	P _{MB}	C _B	R _B
f _M	P _{MB}	C _{MA}	R _M	f _M	f _M	P _{MB}	C _A	R _M	f _M	P _{MB}	C _M	R _M	f _M	P _{MB}	C _B	R _B
f _B	P _{MB}	C _{MA}	R _M	f _B	f _B	P _{MB}	C _A	R _B	f _B	P _{MB}	C _M	R _B	f _B	P _{MB}	C _B	R _B
f _{MB}	P _{MB}	C _{MA}	R _M	f _{MB}	f _{MB}	P _{MB}	C _A	R _B	f _{MB}	P _{MB}	C _M	R _B	f _{MB}	P _{MB}	C _B	R _B

Anexo 9: Ejemplos de sucesos iniciadores

- Accidente automovilístico durante el transporte de materiales radiactivos (colisiones, incendio o explosión, inundación).
- Fallo en el sistema de fijación de bulto durante el transporte de material radiactivo.
- Robo/hurto de vehículo que transporta material radiactivo o bien de la mercancía que se transporta (incluyendo el material radiactivo).
- Fuente/dispositivo atascado en posición de irradiación.
- Ingreso indebido de alguna persona durante el proceso de irradiación.
- Pérdida de una fuente radiactiva en un dispositivo móvil.
- Error en calibración de equipos.
- Error de identificación de pacientes.
- Derrame de un radiofármaco.
- Error al momento de realizar una práctica/estudio.
- Liberación de desechos radiactivos como basura común (previo a que estos hayan decaído suficiente).
- No funcionamiento del cierre del interruptor de bloqueo.
- Errores de posicionamiento de pacientes.
- Errores al digitalizar el corte anatómico.
- Error al planificar la protección de órganos críticos y piel sana.
- Error al registrar los datos de la administración diaria del tratamiento.

Referencias

- Guía para la preparación y respuesta a emergencias radiológicas. Consejo Nacional de Seguridad Nuclear.
- Guía de Seguridad 7.10: Plan de Emergencia Interior en Instalaciones Radiactivas. Consejo de Seguridad Nuclear.
- Guía para la evaluación de la seguridad radiológica de instalaciones y actividades. Departamento de Protección y Seguridad Radiológica, Dirección General de Energía.
- Evaluación de la seguridad de las instalaciones y actividades- Requisitos de Seguridad Generales (GSR Parte 4) OIEA.