

CAPÍTULO 4

Criterios de protección radiológica

Gustavo Sánchez

Introducción

El objetivo de la protección radiológica es **evitar** los efectos determinísticos y **acotar**, dentro de valores aceptables, la probabilidad de ocurrencia de efectos estocásticos.

Este planteo es claro y sencillo, pero cuando queremos avanzar para llevarlo a la práctica se presentan algunas dificultades, como por ejemplo:

¿Qué criterios utilizamos para determinar si un riesgo es o no “aceptable”? Estos criterios, ¿son universales? es decir: lo que es aceptable o inaceptable en un caso, ¿lo es en todos los casos? ¿O existen matices? ¿Es igualmente aceptable el riesgo al que se expone un paciente expuesto a radiaciones con fines médicos que el que recibe el trabajador que realiza la práctica? ¿Podemos aceptar en ciertas circunstancias –por ejemplo, para paliar las consecuencias de un accidente- riesgos que serían inaceptables en otras –por ejemplo, en la práctica “normal”?

¿Podemos realmente limitar los riesgos derivados de la exposición a la radiación? ¿Sobre qué podemos actuar? Por ejemplo: desde siempre existe radiación de origen natural, ¿podemos hacer algo para reducir los riesgos que ella genera? ¿Cuándo son más eficaces las medidas de protección? ¿Cuándo las aplicamos sobre los individuos, sobre las fuentes o sobre el ambiente?

Si cualquier fuente de radiación genera dosis, y cualquier dosis tiene asociado un riesgo, podríamos concluir que no se deberían utilizar fuentes de radiación en ningún caso. Sin embargo, no utilizarlas también genera riesgos y perjuicios ya que existen usos beneficiosos de las radiaciones, tanto en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades como en la industria; por ejemplo, la integridad de un puente, del casco de un barco o de una aeronave se controlan con técnicas radiográficas (gammagrafía).

Finalmente, y sin pretender agotar los problemas conceptuales a resolver: ¿podemos asegurar que nunca ocurrirá un accidente radiológico? Obviamente la respuesta es no. No podemos asegurarlo, como tampoco podemos evitar los accidentes de tránsito, en el trabajo, etc. Sin embargo, estos riesgos están incorporados a nuestra vida cotidiana y los aceptamos, ¿podemos hacer lo mismo con el riesgo de accidentes radiológicos?

La complejidad de estos problemas hizo necesario generar un marco conceptual que considerara, entre otras, estas cuestiones, para a partir de él tomar medidas concretas en el diseño y operación de instalaciones que emplean fuentes de radiación.

Esta tarea la realiza la Comisión Internacional de Protección Radiológica de la que ya se habló en el capítulo 2. Las organizaciones internacionales y las autoridades nacionales responsables de la protección radiológica, así como los usuarios, han tomado las recomendaciones del ICRP para establecer las normas, regulaciones y códigos de práctica. Actualmente la mayoría de las regulaciones nacionales y los estándares internacionales se basan en estas recomendaciones.

Las recomendaciones de carácter general establecen los criterios básicos de la protección radiológica. Estas sugerencias fueron evolucionando en función del conocimiento de los efectos de la radiación, siendo la principal fuente de información los informes periódicos del Comité Científico de las Naciones Unidas sobre los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR, por sus siglas en inglés); también fueron cambiando conceptos subjetivos como el de “detrimento” en el que se pretenden incluir, y cuantificar, los atributos negativos de la exposición a la radiación: riesgo de muerte por cáncer atribuible a la radiación, ponderación de efectos no letales, disminución de la expectativa de vida, efectos hereditarios, etc.

A continuación, se resume la historia de estas recomendaciones básicas:

- 1928 INTERNATIONAL X RAY AND RADIUM COMMITTEE: Restricción de horas de trabajo equivalente a 1000 mSv/año. EVITAR EFECTOS DETERMINÍSTICOS
- 1951: DMP 3 mSv /semana
- 1954: DMP 50 mSv/año para trabajadores; 5 mSv/año público. CONSIDERA EFECTOS ESTOCÁSTICOS
- 1959: Inicio de Publicaciones periódicas. Recomendaciones básicas.
 - 1959 ICRP #1 “As Low As Practicable”
 - 1964 ICRP #6 “As Low As Readily Achievable (ALARA)” (Nótese cómo fue cambiando el concepto al que alude la letra “R”)
 - 1966 ICRP #9 “As Low As Reasonably Achievable (ALARA)”
 - 1976: ICRP #26 “As Low As Reasonably Achievable (ALARA)” considerando factores económico y sociales
 - 1978: Límite para el Público 1 mSv/año
 - 1991: ICRP #60
 - 2007: ICRP#103 “Las Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica”.

En el presente capítulo desarrollaremos el marco conceptual de la protección radiológica de acuerdo con las recomendaciones del ICRP (2007); sólo se hará referencia a publicaciones anteriores cuando pudiera generarse alguna duda respecto de la aplicación de la normativa vigente.

A continuación, se expone en forma resumida, el Sistema de Protección Radiológica en Seres Humanos del ICRP (2007). Para profundizar sobre el tema deberemos referirnos a dicha publicación y la bibliografía allí citada.

Consideraciones preliminares

El sistema de protección radiológica tiene por objeto establecer las bases para las normas y criterios que sean aplicables. Por lo tanto, si bien los efectos biológicos son independientes de la circunstancia en la que ocurre la exposición, a los fines regulatorios no se sumarán las dosis que un mismo individuo reciba debido a fuentes no reguladas, o a fuentes reguladas en condiciones diferentes a la que se está considerando. Por ejemplo: para cuantificar el riesgo al que está expuesto un trabajador con radiaciones no se tendrá en cuenta la dosis que ese trabajador reciba por la exposición a fuentes naturales, como paciente o por fuentes diferentes a las que utiliza en su trabajo.

Por otro lado, debe hacerse una distinción entre las **consideraciones relativas a la fuente** y las **relativas al individuo**. Aunque dentro de cada categoría los individuos pueden exponerse a varias fuentes, para los propósitos de la protección radiológica, cada fuente, o grupo de fuentes, puede tratarse separadamente. Es entonces necesario considerar la exposición de todos los individuos que podrían estar expuestos a dicha fuente o grupo de fuentes. Este procedimiento se denomina “evaluación relativa a la fuente”:

El término “fuente” se emplea para indicar cualquier entidad física o procedimiento que da lugar a dosis de radiación potencialmente cuantificables en una persona o grupo de personas. Puede consistir en una fuente física (por ejemplo, material radiactivo o un equipo de rayos X), una instalación (como un hospital o una central nuclear), o procedimientos o grupos de fuentes físicas que tienen características similares (por ejemplo, procedimientos de medicina nuclear, radiación ambiental o de fondo). Si desde una instalación se liberan sustancias radiactivas al medio ambiente, la instalación en conjunto puede considerarse como una fuente. (ICRP, 2007, p. 72)

Situaciones en las que se produce la exposición

Exposiciones planificadas

Según la ICRP, las exposiciones planificadas:

Son situaciones que implican la deliberada introducción y operación de fuentes. Las situaciones planificadas pueden conducir tanto a exposiciones que se prevé que habrán de ocurrir (**exposiciones normales**) como a exposiciones que no puede anticiparse que ocurrirán (**exposiciones potenciales**). (ICRP, 2007, p. 91)

Más adelante, agregan:

En las situaciones de exposición planificada, razonablemente se espera que ocurra una exposición de un nivel determinado. Sin embargo, pueden producirse exposiciones superiores como consecuencia de desviaciones de los procedimientos planificados de operación, de accidentes incluyendo la pérdida del control de las fuentes de radiación y de hechos malévolos. Aunque no se pueden predecir en detalle, tanto las desviaciones de los procedimientos planificados de operación como los accidentes, a menudo pueden preverse estimando su probabilidad de ocurrencia. (ICRP, 2007, p. 91)

Además de las exposiciones normales, existen las exposiciones potenciales, que la ICRP define como sigue:

Las exposiciones potenciales deben ser consideradas en la etapa de programación de la introducción de una situación de exposición planificada. Debería reconocerse que la potencialidad de exposición puede conducir a acciones tanto para reducir la probabilidad de incidencia de tales sucesos como para limitar y reducir la exposición (mitigación) si llegara a ocurrir. (ICRP, 2007, p. 91)

Exposiciones de emergencia

Son situaciones que pueden ocurrir durante la operación de una situación planificada, o como consecuencia de un acto malévolo, o cualquier otra situación inesperada, y requieren la adopción de acciones urgentes a fin de evitar o reducir las consecuencias no deseadas.

Exposiciones existentes

Son situaciones de exposición que ya existen cuando debe tomarse una decisión sobre su control, incluyendo las situaciones de exposición prolongadas después de emergencias.

Los principios de protección para situaciones planificadas también se aplican a la exposición ocupacional en relación con situaciones de exposición de emergencia y existentes, aunque con un enfoque diferente.

Las exposiciones médicas de pacientes también son situaciones de exposición planificada, pero debido a sus características especiales tales exposiciones son tratadas separadamente.

Categorías de exposición

Exposición ocupacional

La exposición ocupacional es

(...) toda exposición a radiaciones de los trabajadores ocurrida como resultado de su trabajo. (...) La definición convencional de exposición ocupacional a cualquier agente peligroso incluye todas las exposiciones en el trabajo, sin tener en cuenta su fuente. Sin embargo, debido a la ubicuidad de la radiación, la aplicación directa de esta definición a la radiación significaría que todos los trabajadores deberían estar sujetos a un régimen de protección radiológica (ICRP, 2007, p. 73).

Sería el caso, por ejemplo, de los empleados de una farmacia ubicada dentro de un hospital, adyacente a una sala de rayos X. Estas personas deben considerarse “miembros del público” y ser protegidos como tales. Por eso es que el término “exposiciones ocupacionales” se limita a las exposiciones a radiación producidas en el trabajo como resultado de situaciones que pueden razonablemente atribuirse a la responsabilidad del nivel gerencial superior de la organización (empleador) bajo cuya responsabilidad se encuentre la “fuente”. (ICRP, 2007, p. 73)

Casos especiales de exposición ocupacional

Sobre la situación de las trabajadoras embarazadas, la ICRP advierte:

En lo relativo a la exposición ocupacional no existe razón alguna para distinguir entre los dos sexos. Sin embargo, si una trabajadora ha declarado (es decir, ha notificado a su empleador) que está embarazada, deben realizarse controles adicionales para proteger al embrión o feto. Se acepta que los métodos de protección para mujeres embarazadas en el trabajo deberían proporcionar una protección al embrión/feto semejante a la que se proporciona a los miembros del público. Dicha política estará apropiadamente implementada si la madre ha estado expuesta a radiación de conformidad con el sistema de protección apropiado antes de su declaración de gravidez. Una vez que el empleador ha sido notificado de un embarazo, debería considerar una protección adicional al embrión/feto. Las condiciones de trabajo de una trabajadora encinta, después de la declaración de embarazo, deberían ser las adecuadas para garantizar que la dosis suplementaria al embrión/feto no exceda alrededor de 1 mSv durante el resto de la gestación. (ICRP, 2007, p. 74)

Más adelante, añade:

La restricción de dosis al embrión/feto no significa que es necesario que las mujeres grávidas se abstengan completamente de trabajar con radiación o materiales radiactivos, o que se deba impedir que entren o trabajen en zonas clasificadas radiológicamente. Significa, sin embargo, que el empleador debería revisar cuidadosamente las condiciones de exposición de las mujeres embarazadas. En particular, si es necesario, deben cambiarse sus condiciones de trabajo de modo que, durante la gestación, la probabilidad de dosis e incorporación de radionucleidos accidental sea extremadamente baja. (ICRP, 2007, p. 74)

Finalmente, dan las siguientes especificaciones respecto de las trabajadoras embarazadas y las que están en período de lactancia:

En las Publicaciones 84 y 88 (ICRP, 2000a, 2001a) se proveen recomendaciones específicas sobre el control de la exposición de las trabajadoras embarazadas. En la Publicación 95 (ICRP, 2004c), la Comisión también ha publicado información que permite el cálculo de dosis en los hijos como consecuencia de incorporaciones por parte de madres que los amamantan.

Las mujeres que han comunicado que están embarazadas o están amamantando no deberían estar involucradas en operaciones de emergencia que impliquen dosis de radiación altas (ICRP, 2005a).

En la Publicación 88 (ICRP, 2001a), la Comisión proporcionó coeficientes para el cálculo de dosis en el embrión, feto, y el niño recién nacido, debidas a la incorporación de radionucleidos por parte de la madre antes o durante la gestación (ICRP, 2007, p. 74)

Si bien no está relacionado con la exposición en medicina, es interesante mencionar otro caso especial como es el de las tripulaciones de líneas aéreas: la operación de aeronaves a reacción comerciales y en los vuelos espaciales es parte de la exposición ocupacional; en este caso las únicas medidas reguladoras prácticas consisten en el control de la exposición individual mediante el control de las horas de vuelo y la selección de las rutas. Los casos excepcionales de exposición a rayos cósmicos, como la exposición durante viajes espaciales en los que las dosis pueden ser significativas y puede garantizarse algún tipo de control, deberán ser tratados separadamente teniendo en cuenta las situaciones especiales que pueden dar lugar a ese tipo de exposición.

Exposición del público

Comprende todas las exposiciones que no sean exposiciones ocupacionales ni exposiciones médicas de pacientes. Se produce como resultado de un conjunto de fuentes de radiación. La componente de la exposición del público atribuible a fuentes naturales es de lejos la más grande,

pero como se dijo anteriormente no se debe considerar a efectos de control de las fuentes artificiales de radiación. Las exposiciones del embrión o feto en los casos de trabajadoras embarazadas se consideran y están reglamentadas como exposiciones del público. Según la ICRP:

En general, sobre todo en la exposición del público, cada fuente causará una distribución de dosis sobre muchos individuos; por este motivo se utiliza el concepto de la Persona Representativa para representar a los individuos más expuestos (ICRP, 2006a). Cuando más adelante nos ocupemos de las restricciones de dosis, en el caso de la exposición del público estas se aplicarán a la “Persona Representativa” (ICRP, 2007, p. 90)

Exposición médica

La exposición a la radiación de **pacientes** ocurre en procedimientos diagnósticos, intervencionistas y terapéuticos. Existen varios aspectos de las prácticas radiológicas en medicina que requieren un enfoque de la protección radiológica diferente al que se aplica en otras situaciones de exposición planificada. La exposición es intencional y para el beneficio directo del paciente. Es la única situación en la que una reducción de dosis puede resultar desfavorable. Particularmente en radioterapia, los efectos biológicos de altas dosis de radiación, como por ejemplo la muerte celular, se utilizan en beneficio del paciente para el tratamiento del cáncer y otras enfermedades.

También se incluyen dentro de la exposición médica a las **personas que confortan y cuidan a los pacientes** y a los **voluntarios en investigación**.

Un individuo dado puede exponerse como trabajador, y/o como miembro del público, y/o como paciente, pero las medidas aplicables de protección radiológica serán diferentes en cada caso.

Niveles de protección radiológica

Como asumimos que la relación dosis-probabilidad de efectos estocásticos es lineal, podemos considerar que si no se superan los umbrales para efectos determinísticos cada fuente contribuye a una parte del riesgo al que expone a un individuo dado. Esto nos permite evaluar por un lado el riesgo total al que está expuesto dicho individuo, y por otro, el riesgo que genera una fuente dada sobre él.

Teniendo en cuenta esto, a fin de fijar los niveles de protección radiológica se utilizan dos enfoques: uno relativo a la fuente y otro relativo al individuo a proteger.

En situaciones de exposición planificada, se denomina restricción de dosis a la limitación de las dosis que los individuos puedan recibir provenientes de una fuente. En situaciones de

exposición de emergencia y existente, la restricción relativa a la fuente se denomina “nivel de referencia”.

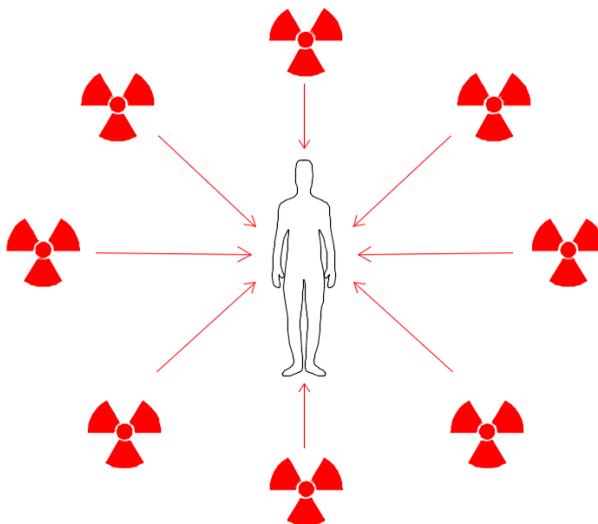
Podría argumentarse que la restricción relativa a la fuente no proveería suficiente protección cuando existen múltiples fuentes. Sin embargo, habrá en general una fuente predominante y la selección del nivel de referencia o restricción apropiado asegura un adecuado nivel de protección.

En el caso específico de situaciones de exposición planificada se requieren restricciones separadas para las sumas de dosis ocupacionales y para las sumas de dosis en el público. Estas restricciones relativas a los individuos se denominan **límites de dosis**.

Como en general no es posible evaluar la exposición total de un individuo debida a todas las fuentes es necesario hacer aproximaciones de la dosis a comparar con el límite cuantitativo, sobre todo en el caso de la exposición del público. Para las exposiciones ocupacionales, es más probable que las aproximaciones sean precisas porque los empleadores tienen acceso a la información necesaria para identificar y controlar las dosis provenientes de todas las fuentes relevantes.

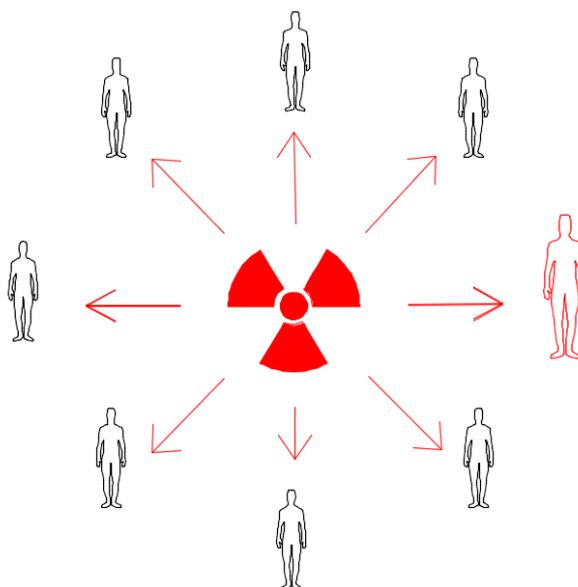
La Imagen 1 ilustra las diferencias de concepto entre el uso de límites de dosis individual en situaciones planificadas y el uso de restricciones o niveles de referencia con fines de protección respecto de una fuente en todas las situaciones.

Figura 4.1. Límites de dosis.



*Nota. La dosis total que recibe un trabajador o la persona representativa de la exposición del público debido a la exposición a fuentes reguladas en condiciones de exposición planificada, no debe superar los **límites de dosis**. Según esta definición, quedan excluidas las exposiciones médicas, las recibidas en situaciones de emergencia y la debida a fuentes naturales. Fuente: ICRP (2007)*

Figura 4.2. Restricciones de dosis.



*Nota. Las **restricciones** se aplican a las dosis que una fuente regulada entrega a un trabajador o a la persona representativa de los miembros del público en condiciones de exposición planificada y son prescriptivos. Los **niveles de referencia**: Se aplican a la dosis que una fuente entrega a un trabajador o a la persona representativa de los miembros del público en condiciones de exposiciones de emergencia o existentes. No son prescriptivos. Los **niveles de referencia para la exposición médica** Tampoco son prescriptivos y se aplican, como indica su nombre a la exposición médica de los pacientes, a la exposición de confortadores o cuidadores y a la exposición de voluntarios en investigaciones médicas. Fuente: ICRP (2007).*

Principios de protección radiológica

Principio de justificación

La ICRP define el principio de justificación como

Cualquier decisión que altere la situación de exposición a radiación debería producir más beneficio que daño. Esto significa que toda decisión en virtud de la cual se introduzca una nueva fuente de radiación, se reduzca una exposición existente, o se reduzca el riesgo potencial de exposición, debería producir suficiente beneficio individual o social como para compensar el detrimento que causa dicha decisión. Se resume en **que el beneficio debe superar al perjuicio**. Este criterio se aplica de forma diferente según el caso (ICRP, 2007, p. 77)

Justificación de las exposiciones planificadas

Cuando se introducen nuevas actividades humanas (“prácticas”) **la protección radiológica se planifica por adelantado** y se pueden tomar las acciones necesarias sobre la fuente. La aplicación del principio de justificación a estas situaciones implica que no debería introducirse

una situación de exposición planificada a menos que produzca el suficiente beneficio neto a los individuos expuestos o a la sociedad para compensar el detrimento radiológico que causa. Puede ser necesario reexaminar si resulta justificable continuar algunos casos particulares de situaciones planificadas a medida que se dispone de nueva información o tecnología.

Los siguientes son ejemplos de exposiciones a la radiación que el ICRP considera explícitamente como injustificadas:

- Aumento de radiactividad en productos tales como comida, bebidas, cosméticos, juguetes, joyas o adornos personales por añadir o activar de forma intencionada de sustancias radiactivas.
- Exámenes radiológicos con propósitos laborales, legales o relacionados con seguros de vida, realizados sin referencia a indicaciones clínicas, a menos que se espere que el examen provea información útil sobre la salud del individuo examinado o se realice en sustento de una investigación criminal importante. Esto significa, casi siempre, que debe llevarse a cabo una evaluación clínica de la imagen obtenida, en caso contrario la exposición no estaría justificada.
- Estudios médicos para cribado (“*screening*”) de grupos de población asintomáticos que impliquen exposición a radiación, a menos que las ventajas esperadas para los individuos examinados o para la población en su conjunto sean suficientes como para compensar los costes económicos y sociales, incluyendo el detrimento de la radiación. Debería tenerse en cuenta el potencial del procedimiento de cribado (*screening*) para detectar una enfermedad, la posibilidad de un tratamiento eficaz de los casos detectados y, para ciertas afecciones, las ventajas para la comunidad del control de la enfermedad.

Justificación en situaciones de emergencia y existentes

En estos casos las exposiciones pueden ser controladas principalmente a través de la modificación de las vías de exposición y no actuando directamente sobre la fuente. La aplicación del principio de justificación consiste en analizar la conveniencia de adoptar una acción para evitar una exposición adicional. Toda decisión tomada para reducir dosis, lo que siempre implica algunas desventajas, debería justificarse en el sentido de que debería producir más beneficio que daño: es mejor tomar las acciones para reducir la dosis que dejar que el proceso ya iniciado siga su curso natural.

Justificación de las exposiciones médicas

La exposición médica de pacientes requiere un enfoque diferente y más detallado del proceso de justificación. El objetivo principal de las exposiciones médicas es beneficiar al paciente, teniendo en debida cuenta el detrimento radiológico asociado a la exposición del personal de radiología y de otros individuos. La Justificación de las exposiciones médicas se aplica en tres niveles:

- a) Nivel general: justificación una determinada práctica, técnica o metodología de diagnóstico o tratamiento (radiología, medicina nuclear, radioterapia, etc). Normalmente no existe un formalismo o procedimiento específico para esto.
- b) Nivel específico orientado a grupos de pacientes: determinados estudios o procedimientos radiológicos tienen utilidad clínica (ya sea obtención de información diagnóstica o beneficio terapéutico) en ciertos casos, pero no en otros, generando en estos un riesgo que no está acompañado de un beneficio para el paciente. Existen recomendaciones para orientar a los médicos prescriptores para correcta indicación de estudios o procedimientos terapéuticos.
- c) Nivel específico orientado a pacientes individuales: la responsabilidad por la justificación del uso de un procedimiento en particular recae en los facultativos médicos pertinentes, quienes necesitan tener conocimientos para juzgar cuáles serán los beneficios y los riesgos que dicho procedimiento le generará al paciente.

Principio de optimización de la protección

Es el proceso relacionado con la fuente que tiene por finalidad mantener “tan bajas como sea razonablemente posible” (As Low As Reasonably Achievable)

- a probabilidad de que ocurran exposiciones (cuando no es seguro que habrán de ocurrir),
- el número de personas expuestas, y
- la magnitud de las dosis individuales, teniendo en cuenta factores económicos y sociales.

Existen diferentes técnicas de ayuda para la toma de decisiones que son aún esenciales para encontrar de manera objetiva una solución óptima en protección radiológica; dichas técnicas incluyen métodos de optimización cuantitativa como los análisis de costo-beneficio. Según la ICRP:

La optimización está siempre orientada a lograr el mejor nivel de protección a través de un proceso iterativo continuo que involucra:

- la evaluación de la situación de exposición, incluyendo toda exposición potencial.
- la selección de un valor apropiado para la restricción o nivel de referencia;
- la identificación de las posibles opciones de protección;
- la selección de la mejor opción en las circunstancias prevalecientes y
- la implementación de la opción seleccionada (ICRP, 2007, p. 79)

Luego, agregan:

La optimización de la protección es un proceso iterativo orientado a prevenir o reducir exposiciones en el futuro. Tiene en cuenta tanto la evolución técnica como la socioeconómica, y requiere estimaciones cualitativas y cuantitativas. La optimización es una actitud mental, siempre cuestionando si se ha hecho lo

mejor en las circunstancias prevalecientes y si se ha hecho todo lo razonable para reducir las dosis. (ICRP, 2007, p. 80)

La optimización de la protección no es la minimización de dosis. Se suele considerar al criterio ALARA (reducción de las dosis tanto como sea razonable) como sinónimo de Optimización, lo que es un error. La mejor opción no es necesariamente aquella que da lugar a la dosis más baja. Además de la reducción de la magnitud de las exposiciones individuales, también debe considerarse la reducción del número de individuos expuestos. La dosis efectiva colectiva ha sido y continúa siendo un parámetro clave en la optimización de la protección de los trabajadores.

Restricciones de dosis y niveles de referencia³

Los conceptos de restricción de dosis y niveles de referencia se emplean juntamente con la optimización de la protección para restringir las dosis individuales. Es necesario que exista un nivel de dosis individual definido ya sea como restricción de dosis o como nivel de referencia.

La expresión ‘restricción de dosis’ se aplica en situaciones de exposición planificada (con excepción de la exposición médica de pacientes). Según la ICRP, se define como

Una restricción anticipada y relacionada a la fuente en la dosis individual debida a una fuente, que proporciona un nivel básico de protección para los individuos más expuestos a una fuente, y sirve como límite superior de la dosis en la optimización de la protección para esa fuente. (ICRP, 2007, p. 30)

Para las situaciones de **exposición existente y exposición de emergencia** estos niveles de dosis se denominan ‘**niveles de referencia**’. La diferencia en la terminología entre las situaciones de exposición planificada y otras situaciones de exposición (existente y de emergencia) sirve para expresar el hecho de que en las situaciones planificadas, la limitación a las dosis individuales puede aplicarse en la etapa de planificación previendo que las dosis no habrán de exceder la restricción. En las otras situaciones puede existir una gama más amplia de exposiciones, y el proceso de optimización puede aplicarse a dosis individuales cuyos niveles iniciales estén por encima del nivel de referencia. En otras palabras: las restricciones de dosis (para las exposiciones planificadas) y los niveles de referencia (en exposiciones existentes y de emergencia) funcionan como una cota para las opciones de optimización, que se aplica en forma diferente en cada caso.

³ Tomado de ICRP (2007, §5.9).

Se emplean **niveles de referencia para diagnóstico médico** (es decir en situaciones de exposición planificada) para indicar si en condiciones rutinarias, los niveles de dosis en el paciente o actividad administrada en un procedimiento de diagnóstico por imágenes específico, son inusualmente altos o bajos para ese procedimiento. En ese caso, debería emprenderse una revisión local para determinar si se ha optimizado adecuadamente la protección o si es necesaria una acción correctiva.

El valor escogido para una restricción o un nivel de referencia dependerá de las circunstancias de la exposición en consideración. También debe comprenderse que ni las restricciones de dosis y riesgo ni los niveles de referencia representan una demarcación entre ‘seguro’ y ‘peligroso’ o reflejan un cambio abrupto en el riesgo asociado para la salud de los individuos.

Límites de dosis

En situaciones de exposición planificada para fuentes reguladas que no consistan en exposiciones médicas de pacientes, la dosis total de cualquier individuo no debería exceder los límites aplicables. De esto se deduce que los límites individuales de dosis no se aplican a la radiación natural, a las exposiciones médicas ni a las exposiciones en situaciones de emergencia.

Los límites de dosis reglamentarios son decididos por la autoridad reguladora teniendo en cuenta las recomendaciones internacionales, y se aplican a trabajadores y miembros del público en situaciones de exposición planificada.

Los valores de los límites de dosis se adoptan con el criterio de evitar que ocurran efectos determinísticos y acotar el riesgo de efectos estocásticos a valores “tolerables”. No constituyen umbrales de seguridad, sino que definen un nivel fronterizo entre un detrimento aceptable (para las condiciones indicadas) y una situación intolerable en contexto de exposición normal, habitual y prolongada en el tiempo. Dado que los términos “tolerable” y “aceptable” tienen un componente fuertemente subjetivo, los valores recomendados por la ICRP surgen de la evaluación crítica y el juicio de sus integrantes; sin embargo, han sido volcados sin modificación a las regulaciones nacionales de la mayoría de los países.

Como lo que se busca es limitar el detrimento debido a efectos estocásticos a valores “tolerables”, ya sea para trabajadores o miembros del público, es natural que se expresen en términos de “Dosis Efectiva”. Pero el sólo cumplimiento de los límites de dosis también implica no superar los umbrales para efectos determinísticos, lo cual depende no sólo de la dosis sino de los órganos expuestos y el período de tiempo durante el cual se produce la exposición; en condiciones de exposición localizada en órganos poco susceptibles de inducción de efectos estocásticos (wt bajos) éstos podrían recibir dosis superiores al umbral, sin excederse el límite de dosis efectiva. Por este motivo se hace necesario establecer límites de dosis equivalente en órganos donde podría eventualmente producirse esta situación, a saber, la piel, el cristalino del ojo y las extremidades.

Los límites de dosis recomendados por la ICRP y adoptados por las regulaciones argentinas son:

Para Exposición Ocupacional⁴

- Límite de Dosis Efectiva (**E**): 20 mSv/año (Formalmente el LÍMITE DE DOSIS para exposición ocupacional es “100 mSv/5 años, sin superar 50mSv en un año calendario” Para los trabajadores en medicina esto es irrelevante, ya que los valores habituales están muy por debajo de los 20mSv)
- Límite de dosis Equivalente (**H_T**)
 - Piel y extremidades: 500 mSv/año
 - Cristalino: 20 mSv/año ⁵

Para Exposición del Público

- Límite de Dosis Efectiva (**E**): 1 mSv/año
- Límite de dosis Equivalente (**H_T**)
 - Piel y extremidades: 50 mSv/año
 - Cristalino: 15 mSv/año

Tabla 4.1. Criterios de aplicación de Límites y Restricciones de dosis y Niveles de Referencia.

	Exposición OCUPACIONAL	Exposición del PUBLICO	Exposición MÉDICA
Exposición PLANIFICADA	LÍMITES de dosis RESTRICCIONES de dosis	LÍMITES de dosis RESTRICCIONES de dosis	NIVELES DE REFERENCIA (de la exposición médica)
Exposición de EMERGENCIA	NIVELES DE REFERENCIA	NIVELES DE REFERENCIA	No se aplica
Exposición EXISTENTE	No se aplica	NIVELES DE REFERENCIA	No se aplica

Nota. (ICRP, 2007)

Implementación de las recomendaciones

A continuación, haremos un resumen de las diferentes situaciones que se pueden plantear en las instalaciones médicas. A fin de enfocarnos en la protección radiológica en medicina, excluirémos las situaciones de emergencia que involucren a un gran número de miembros del público y la exposición a fuentes naturales de radiación.

⁴ Valores recogidos de la Tabla 6, en ICRP (2007, p. 86).

⁵ El límite de dosis en cristalino se modificó en base a lo establecido en “Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Standard Series N°. GSR Part 3, 2014”. En Argentina este cambio se hizo efectivo a partir del 29 de abril de 2016, con la publicación en el Boletín Oficial N° 33.368 de la Resolución 230/16 del Directorio de la ARN. En el ICRP 103 (ICRP, 2007) el valor era de 150 mSv/año.

Según la etapa

Durante el diseño de una instalación: al diseñar las medidas de protección de una instalación aún no construida se hacen estimaciones previas de las variables involucradas, sin tener la certeza de cómo esas variables se comportarán en el futuro, y en el caso de variables numéricas los valores que tomarán; algunos ejemplos: carga de trabajo (¿cuántos pacientes se atenderán en un determinado período de tiempo, por ejemplo pacientes/semana? ¿Cuánta dosis de radiación se usará por estudio/tratamiento? ¿Cuánta actividad habrá en un instante dado dentro de un servicio?), probabilidad de ocupación de los locales adyacentes, etc. Si se toman valores muy bajos, lo que generaría un bajo riesgo, los resultados podrían dar una protección insuficiente o no quedaría margen para aumentar, por ejemplo, el número de pacientes que se atiendan semanalmente una vez que el servicio esté operativo. Si, por el contrario, las consideraciones de diseño son demasiado conservativas, el costo de la protección sería innecesariamente elevado, no cumpliéndose el principio de optimización. Existen protocolos de diseño para instalaciones específicas (NCRP, 2004; NCRP, 2006; AAPM TG, 2005; etc.) donde se establecen parámetros específicos, no como valores inamovibles sino como rangos sugeridos, por lo que siempre el diseñador tendrá un margen para aplicar su criterio personal. Es en la etapa de diseño donde se aplican las Restricciones de Dosis, concepto explícitamente definido como prospectivo. Una restricción de dosis como límite superior de las dosis previstas en los análisis de optimización.

Durante la operación: una vez que la instalación está operativa, el objetivo es, tomando como base las consideraciones de diseño, vigilar las condiciones de exposición para detectar desviaciones o nuevas fuentes de riesgo. El circuito consiste en evaluar las condiciones de exposición, compararlas con las de diseño y tomar medidas ya sea para reducir las dosis individuales, el número de individuos expuestos o para reducir el riesgo de exposiciones potenciales, utilizando a tal fin sistemas de seguridad o procedimientos operativos y finalmente evaluar la eficacia de estas medidas. Un ejemplo sería el control de la contaminación en un cuarto caliente donde se trabaja con fuentes abiertas: se definen valores de contaminación por encima de los cuales es necesario descontaminar, se debe contar con el equipamiento adecuado operativo que será utilizado por trabajadores que conozcan el procedimiento de medición y la interpretación de los resultados, si estos resultados ameritan tomar acciones para descontaminar, conocer el procedimiento, contar con los elementos para llevarlo a cabo y finalmente medir nuevamente para determinar si las acciones tomadas fueron eficaces. Las restricciones de dosis pierden entidad en esta etapa: sí es útil establecer criterios de evaluación (que incluyen la vigilancia radiológica individual y de áreas) para la mejora continua de la seguridad e higiene radiológica. La clasificación de áreas (controladas y supervisadas) y la reevaluación periódica de dicha clasificación es una herramienta importante para limitar las dosis colectivas.

En una situación de emergencia: lo más importante para solucionar o paliar las consecuencias de una situación de emergencia es reconocer que tal emergencia existe. Cuando ocurre una situación anormal, esta situación comienza con un evento iniciador y las consecuencias de esta situación serán tanto más graves cuanto más se tarde en detectar el problema. Está documen-

tada una gran cantidad de accidentes radiológicos graves en los que no se reconoció rápidamente el problema. Por lo tanto, es necesario contar con procedimientos y sistemas que permitan reconocer rápidamente que algún parámetro, variable o situación está fuera de lo que consideramos “normal”, y también saber cómo actuar ante una situación anormal y disponer de los elementos necesarios (equipos, herramientas, sistemas de medición, etc). Una cuestión muy importante: la dosis que se recibe en una emergencia NO debe computarse para evaluar el cumplimiento de los límites de dosis, ya que su valor se estableció para limitar el riesgo durante exposiciones planificadas. Como ya se indicó oportunamente, sí se aplican los criterios de Justificación y Optimización como así también se pueden definir niveles de referencia como guía para situaciones específicas.

Según la forma de exposición

Irradiación: las herramientas que se utilizan para reducir las dosis por irradiación son el tiempo de exposición (como tiempo “real” que el individuo está expuesto a la radiación, lo que es diferente al tiempo de trabajo en un servicio donde se emplean radiaciones), la distancia entre la fuente de radiación y la persona o la parte del cuerpo a proteger y el uso de blindajes. La forma de utilizar estas “herramientas” dependerá de cada situación.

Contaminación: una contaminación sólo puede ocurrir cuando se trabaja con fuentes radiactivas abiertas, o con fuentes radiactivas selladas cuyo encapsulado se ha deteriorado como consecuencia de una situación anormal. Las medidas de protección contra la contaminación consisten simplemente en establecer barreras protectoras que separen la fuente del individuo. Estas medidas se pueden aplicar en tres niveles diferentes: sobre la fuente (cápsula, contenedor primario), sobre el ambiente (campanas, filtros en los sistemas de ventilación, cajas de guantes) o sobre el individuo (máscaras, filtros, ropa protectora). La eficacia de estas barreras es tanto menor cuanto más cerca del individuo se aplican. Hay que tener en cuenta tanto la eficacia de cada elemento (por ejemplo, un filtro retiene menos del 100% de las partículas que lo atraviesan), las condiciones de mantenimiento y la duración.

Según las personas a proteger

Trabajadores: la protección de los trabajadores se implementa tanto en la etapa de diseño como durante la operación. Los trabajadores están sujetos a vigilancia radiológica individual y las instalaciones a vigilancia radiológica del lugar de trabajo (monitoreo de áreas). Esto permite una reevaluación continua de la higiene radiológica.

Público: los miembros del público no están sujetos a vigilancia radiológica, por lo que la protección se basa en un correcto diseño a partir de la elección de restricciones adecuadas y la evaluación, en la etapa operativa, de la integridad de los elementos de protección mientras se mantenga el resto de las condiciones de diseño (por ejemplo, la carga de trabajo). El diseño debe asegurar que la “persona representativa” de los miembros del público no supere las restricciones aplicables.

Pacientes, confortadores o participantes en programas de investigación: la exposición médica se tratará por separado en otro capítulo, pero recordamos que se aplican los criterios de justificación (a nivel general y particular), de optimización y niveles de referencia que no son valores restrictivos sino una guía para la optimización; no se aplican los límites de dosis. Cómo aplicar estos conceptos depende fuertemente de la práctica médica particular.

Según la probabilidad de exposición:

Exposiciones planificadas: en las exposiciones planificadas existe un 100% de probabilidad de que una o más personas reciban dosis de radiación. En estas circunstancias las variables a controlar para reducir el riesgo debido a estas exposiciones que con certeza ocurrirán son las dosis individuales y el número de individuos expuestos.

Exposiciones potenciales: en este caso la probabilidad de ocurrencia de dosis es inferior al 100%. Por lo tanto, el riesgo asociado a las exposiciones potenciales será proporcional a dos variables: el riesgo de que ocurra y la dosis (individual y/o colectiva) en caso de esto suceda. Una consideración muy es que las medidas que se tomen tanto para prevenirlas (reducción del riesgo de ocurrencia) como para reducir la dosis una vez ocurrida la situación deben establecerse durante la etapa de diseño de la instalación, y estarán sujetas a evaluación continua para mejorar su eficacia y eficiencia.

Cómo limitar las dosis individuales

Hay dos y solo dos mecanismos por los que la radiación puede exponer a los individuos: externa (irradiación) e interna (incorporación por contaminación).

Irradiación: las herramientas de que disponemos para reducir la dosis por irradiación son

- Limitar el **tiempo** de exposición.
- Aumentar la **distancia** a la fuente.
- Interponer **blindajes** entre las fuentes y las personas a proteger.

Contaminación: las herramientas para limitar la dosis por incorporación consisten en barreras que se interponen entre las fuentes y las personas a proteger. Por una cuestión práctica vamos a clasificar también esas **barreras** en

- Confinamiento de las fuentes dentro de cápsulas o recipientes que impiden su contacto con el ambiente exterior.
- Dispositivos de control ambiental, como por ejemplo campanas de extracción o campanas de flujo laminar, cajas de guantes, sistemas de filtrado, etc.
- Elementos de protección personal (Guantes, máscaras, guardapolvos, cubrezapatos, cofias, etc).

Cada uno de estos temas se desarrollará en los capítulos siguientes.

Qué hacer respecto de las exposiciones potenciales

No es suficiente con tomar medidas para prevenir accidentes, sino que también hay que estar preparados para minimizar las consecuencias en caso de que ocurran. Por eso las medidas a tomar tienen como objetivos:

Prevenir: es decir, tomar las medidas necesarias para evitar que ocurran los accidentes sabiendo que **no es posible una prevención del 100%** Por completas y eficaces que sean las medidas que tomemos no podemos confiar en que sean totalmente efectivas.

Detectar: la mayoría de los accidentes con consecuencias graves, muchas veces mortales, se produjeron porque no se advirtió rápidamente que algo estaba andando mal. En el Gráfico 1 (véase al final del Capítulo) hay un ΔT entre el momento que se inicia el accidente y el momento en que se detecta el problema. Muchas veces se tardó tanto en detectar que algo andaba mal que un problema que se hubiera solucionado en forma relativamente sencilla terminó causando una o más muertes. Por lo tanto, es necesario que ΔT sea lo más bajo

Solucionar: lo que significa tomar las medidas necesarias para minimizar las consecuencias del accidente. El objetivo de máxima es que se restauren las condiciones previas al accidente, lo que no siempre es posible. Aquí hay que hacer una observación importante: mientras que la detección del incidente debe ser lo más temprana posible (ΔT lo más bajo posible) en este caso se debe priorizar tomar las acciones correctas, no necesariamente las más rápidas. Como en una emergencia es difícil actuar racionalmente y pensar con tranquilidad, es necesario que los procedimientos de emergencia se preparen y ensayen previamente, si es necesario realizando simulacros. Estos procedimientos deben tener claramente identificada la siguiente secuencia: **qué** hacer, **quién** debe hacerlo, **cómo** debe hacerlo, **cuándo** debe hacerlo y **con qué** elementos debe hacerlo. Y esos elementos deben estar disponibles y en buen estado **en todo momento**.

Restauración y Evaluación: una vez realizadas las acciones correctivas hay que evaluar las causas del incidente y las acciones correctivas que se hubieran tomado. En base a estos resultados puede ser necesario modificar tanto los procedimientos normales de trabajo como los propios procedimientos de emergencia.

Las acciones para **prevenir** y **detectar** los accidentes, así como las medidas correctivas son de dos tipos.

- a) Procedimientos: son acciones que realizan las personas para obtener un resultado. Puede ser necesario que utilicen equipos o herramientas, por lo que deben estar entrenados para su uso correcto.
- b) Sistemas de seguridad: son elementos de detección, alarma o acción automática. Es necesario verificar periódicamente su funcionamiento y realizar las reparaciones necesarias en caso de falla, además de tener un mantenimiento preventivo.

Cultura de la seguridad

La Cultura de la Seguridad es el conjunto de características y actitudes de las organizaciones y personas que establece, como prioridad absoluta, que las cuestiones relativas a la protección y la seguridad reciban la atención que merecen por su importancia (IRPA, 2014).

Las preocupaciones por la seguridad han vivido diversas fases de desarrollo cronológico en las que cada dimensión se ha ido sumando a las precedentes para mejorar los resultados:

- En primer lugar, están las acciones técnicas: integridad de las instalaciones, redundancias, detectores de deficiencias, automatismos de protección
- Luego está el desarrollo de sistemas de gestión de la seguridad (SGS): formalización del conjunto de los procesos, procedimientos y normas implantados para mejorar la seguridad.
- Por último, y más recientemente, el reconocimiento de la importancia de los factores humanos y organizativos (FHO), es decir, la identificación y toma en consideración de los factores que condicionan una actividad humana eficiente y segura.

La Cultura de la Seguridad (CdS) está más relacionada con los hábitos y actitudes de los individuos y las políticas de las organizaciones que con el conocimiento y la disponibilidad de medios físicos.

Todas las acciones relevantes para la seguridad deben llevarse a cabo correctamente, en forma reflexiva (no “automática” o “por costumbre”) con un cabal conocimiento de las tareas desarrolladas (lo que implica tanto formación como entrenamiento práctico) con espíritu crítico y sentido de responsabilidad. Uno de los errores más graves - y por lo tanto una “falta de CdS”- es considerar que la seguridad es responsabilidad exclusiva o primordial de un grupo en particular (oficiales de protección radiológica, físico médico) cuando en realidad es responsabilidad de todos.

Defensa en profundidad

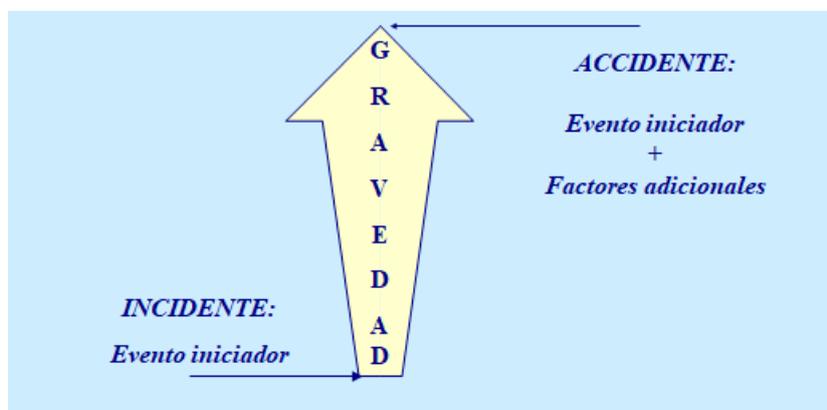
Un concepto asociado al de CdS, de particular relevancia en las aplicaciones médicas, principalmente en radioterapia es el de “Defensa en Profundidad”, término militar en su origen: el enemigo debe incursionar profundamente en nuestro territorio y vencer las sucesivas barreras de contención -trincheras, casamatas, campos minados, etc - para lograr hacernos daño. Este concepto fue introducido en la actividad nuclear siendo fundamental en el diseño de centrales nucleares: se interponen varias “barreras” sucesivas para prevenir la ocurrencia de accidentes y otras diferentes para mitigar las consecuencias para el caso en que, a pesar de las medidas de prevención, los accidentes finalmente ocurran. Cuanto más grave sea un determinado escenario accidental más “barreras” se deben implementar para disminuir la probabilidad de llegar a ese escenario. Los parámetros para cuantificar la gravedad de un accidente son básicamente: a) la gravedad de las consecuencias que sufran las personas involucradas y b) la cantidad de individuos involucrados. En el Capítulo 11, sobre radioterapia, retomaremos este tema.

Resumen

El resumen de lo expuesto en el presente Capítulo se presenta en la Figura 4.4.

- a) En condiciones de **Exposición Planificada** se aplican los criterios básicos de Justificación, Optimización y Limitación de las dosis individuales. Además, se deben seguir procedimientos y utilizar sistemas de seguridad para prevenir la ocurrencia de **Exposiciones Potenciales**, para poder detectarlas rápidamente si estas ocurrieran y poder realizar en forma eficaz y eficiente las acciones correctivas.
- b) Cuando más se tarde en detectar un problema más grave pueden ser las consecuencias. Por lo tanto, debe minimizarse tanto como sea posible el intervalo de tiempo ΔT_1 , desde que ocurre el evento iniciador hasta que el mismo es detectado

Figura 4.3. Factores que determinan la gravedad de un accidente.



Fuente: elaboración propia

- c) Una vez detectada la situación anormal la respuesta debe ser acorde al riesgo que se pretende evitar, minimizando tanto como sea razonablemente posible los riesgos que provocará la propia intervención. (Justificación y Optimización de la intervención). Como se dijo anteriormente en este capítulo, la mayoría de estos procedimientos y los sistemas de seguridad y protección necesarios deberán estar disponibles en todo momento.
- d) Deberán evaluarse las causas y consecuencias de toda situación anormal ocurrida para mejorar las medidas, y de este modo evitar que se repitan así como mejorar los procedimientos y sistemas de seguridad, de acuerdo a las lecciones que surjan del evento.

La Prevención, Detección e Intervención se basan en

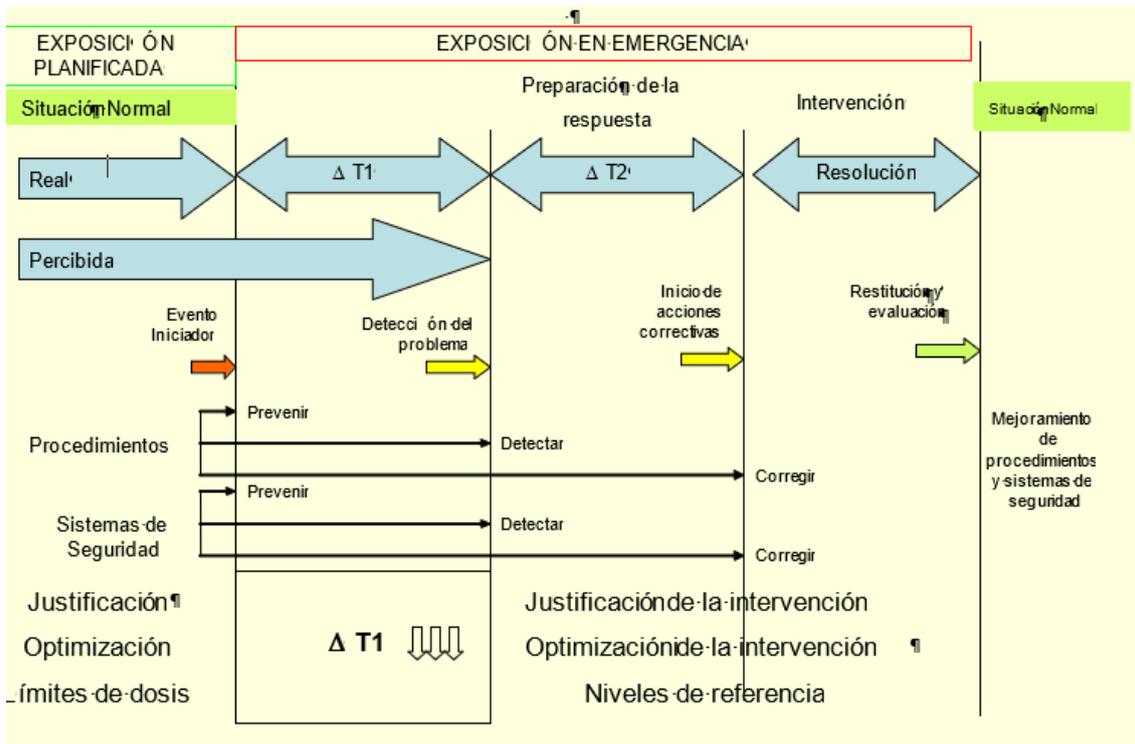
Procedimientos, que deben ser previstos, redactados previamente a la operación como así también ensayados por el personal involucrado. Los procedimientos deben establecer claramente, para una dada situación:

- **Qué** hay que hacer.
- **Quién** debe hacerlo

- **Cómo** debe hacerlo
- **Cuando** debe hacerlo
- **Con qué herramientas** debe hacerlo

Sistemas de seguridad que intervienen automáticamente cuando se detecta que algo falla. (Debe hacer **procedimientos** para evaluar el correcto funcionamiento de los sistemas de seguridad).

Figura 4.4. Resumen de criterios Exposiciones Planificadas y Emergencias.



Fuente: elaboración propia

Referencias

AAPM (2005). AAPM Task Group 108: PET and PET/CT shielding requirements. *Medical physics*, 33(1), 4-15. ICRP (2007). *Recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica*, ICRP 103.

International Radiation Protection Association (IRPA) (2014). *RPA Guiding Principles for Establishing a Radiation Protection Culture*. Disponible en <https://www.irpa.net/>

National Committee on Radiation Protection (NCRP). (2004). *Structural shielding design for medical x-ray imaging facilities*. Report No. 147.

National Committee on Radiation Protection (NCRP). (2006). *Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X- and Gamma-Ray Radiotherapy Facilities*. Report No. 151.