



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIA APLICADA Y
TECNOLOGÍA AVANZADA, UNIDAD LEGARIA.**

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE
SEGURIDAD RADIOLÓGICA (SGSR)
CON APLICACIÓN A HOSPITALES**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

MAESTRO EN TECNOLOGÍA AVANZADA

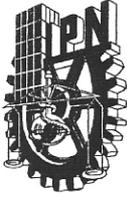
PRESENTA:

JOSÉ DANIEL VELÁZQUEZ MARTÍNEZ

MÉXICO D. F. 2007



“La Técnica Al Servicio De La Patria”



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACION Y POSGRADO

ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de México, D. F. siendo las 11:00 horas del día 28 del mes de noviembre de 2007 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada Por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICATA - IPN para examinar la tesis de grado titulada:

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA (SGSR) CON APLICACIÓN A HOSPITALES.

Presentada por el alumno:

VELÁZQUEZ

Apellido paterno

MARTÍNEZ

materno

JOSÉ DANIEL

nombre(s)

Con registro:

A	0	6	0	2	3	3
---	---	---	---	---	---	---

aspirante al grado de:

MAESTRÍA EN TECNOLOGÍA AVANZADA

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA

Directores de tesis

DR. JAIME SANTOS REYES

Y

DR. TEODORO RIVERA MONTALVO

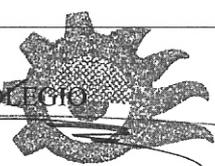
DR. ERNESTO MARÍN MOARES

DR. JOSÉ ANTONIO CALDERÓN ARENAS

DR. JUAN AZORÍN NIETO

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

DR. JOSÉ ANTONIO IRÁN DÍAZ
CENTRO DE INVESTIGACION EN CIENCIA
APLICADA Y TECNOLOGIA AVANZADA
DEL IPN





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESION DE DERECHOS

En la Ciudad de México D. F. el día 10 del mes diciembre del año 2007, el (la) que suscribe Ing. José Daniel Velázquez Martínez alumno (a) del Programa de Maestría en Tecnología Avanzada con número de registro A060233, adscrito a CICATA LEGARIA, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de Dr. Jaime Santos Reyes y Dr. Teodoro Rivera Montalvo y cede los derechos del trabajo titulado Desarrollo de un sistema de gestión de seguridad radiológica (SGSR) con aplicación a hospitales, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o directores del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección DANIELONMX@YAHOO.COM.MX. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

José Daniel Velázquez Martínez
Nombre y firma

Resumen

La medicina es el área que más se ha beneficiado con la implementación de la radiación. Sin embargo, un gran número de accidentes radiológicos han ocurrido en Hospitales en todo el mundo. Lo anterior muestra la necesidad de contar con un Sistema efectivo de gestión de seguridad radiológica en hospitales. Los accidentes han demostrado que los sistemas de gestión de seguridad radiológica existentes cuando ocurrieron fueron inadecuados para prevenir dichos eventos. El presente trabajo propone un Sistema de Gestión de Seguridad Radiológica (SGSR) genérico con aplicación a hospitales y que tiene como objetivo fundamental el de *prevención* de incidentes/accidentes en Hospitales. Para lograr dicho objetivo, todos los elementos que conforman el SGSR (Política, Organización, Planeación e implementación, Medición del desempeño, Auditoría y Revisión del desempeño) tienen que estar implementados y funcionando adecuadamente. Si se cumple lo anterior se puede decir que la probabilidad de que ocurra un accidente es menor que en el caso contrario.

Abstract

In medicine is one of the areas that have been greatly benefited from radiation. However, a number of accidents related to overexposure have occurred worldwide. These events have shown that the existing safety management systems, if any, were inadequate to prevent such events. The present project proposes a generic radiological safety management system (SGSR). The main purpose of the SGSR is to prevent incidents or accidents. It is argued that in order to achieve this, all the SGSR's elements (i.e., Policy, Organising, Planning and implementing, Measuring performance, Audit and Review) have to be in place and working effectively, then the probability of failure should be less than otherwise.

*Si tienes una madre todavía, da gracias al Señor
que te ama tanto, que no todo mortal contar
podría dicha tan grande ni placer tan santo.*

*Si tienes una madre... sé tan bueno que ha de
cuidar tu amor su paz sabrosa, pues la que un
día te llevó en su seno siguió sufriendo, y se
creyó dichosa.*

*Veló de noche y trabajó de día,
leves las horas en su afán pasaban,
un cantar de sus labios te dormía,
y al despertar sus labios te besaban...*

*"Si tienes una madre todavía."
E. NEUMAN.*

Dedicatoria:

*Le Dedico A Mi Madre Maria Eva Martínez Ávila Con Todo El Amor De
Mi Corazón Los Logros Que Obtenga.*

**Haz lo necesario para lograr tu más ardiente deseo y
acabarás lográndolo. (Desconocido)**

Agradecimientos:

Quiero agradecer a Dios todo poderoso por iluminar mi camino, por ser la clave de mi éxito y el cimiento fundamental de mis pilares, a Dios todo poderoso antes que a alguien más, mi más grande sentimiento de amor, admiración, respeto y todo sentimiento elevado de gratitud y dicha plena, pues le debo más que mis éxitos...

Jesús en Ti Confío, Gracias Dios, gloria a Ti

Jesús de las Maravillas, Virgen de Guadalupe, Virgen de Juquilita, Dios padre, Dios hijo, Dios Espíritu Santo, Niñito de la Caridad, Sagrado Corazón De Jesús, y en todas tus advocaciones honor y gloria a Ti.

Agradezco a la persona que me dio el ser y a la cual amo más que a nadie sobre la faz de la tierra, mi Madre **María Eva Martínez Ávila**, por sus múltiples sacrificios, por enseñarme a valorar lo mucho o poco que tengo, por su entrega y abnegación, por enseñarme que aun en las peores tragedias hay que tener Fe y esperanza en Dios, que nunca hay que bajar los brazos y siempre hay que luchar por lo que uno quiere, por todo lo que haces por mi, Te Amo Mami. Gracias y te quiero dedicar esta tesis porque tu semilla dio este fruto "NO TE RINDAS POR FAVOR, TE NECESITO".

Agradezco a mis abuelos Esperanza Ávila García y Luís Martínez Román por su amor incondicional hacia mí, por sus desvelos y por sus muchos consejos y enseñanzas, a mi abuelita le quiero expresar mi amor y cariño y el agradecimiento por su apoyo incondicional durante todos mis estudios. Te amo también.

Agradezco a la L. A. E. Gabriela Fabre Román, por su apoyo y dedicación para conmigo, eres una mujer muy especial para mí T. Q. M.

Agradezco a mi familia, ya que siempre ha estado conmigo y quiero compartir con ellos toda la dicha de este momento, pues sin su apoyo no sería lo que soy. A todos muchas gracias.

Agradezco a mis amigos y amigas, pues siempre me han mostrado gran afecto y simpatía, por sus múltiples consejos y todo lo que me han enseñando, muchas gracias. (Gracias por sus comentarios: Gaby, Delfis, Erika, Viky, Lety, Manuel, Grintal, Nacho, Cesar, Clau, Luisa, Pescadore, Les, entre otros)

Agradezco de manera particular a la Ing. Verónica Vélez Donis por su amistad y por abrirme las puertas para así poder vivir la seguridad radiológica dentro de la institución donde ella labora y dedicarme parte de su tiempo para hacer esta tesis realidad, muchas gracias Vero.

Agradezco al Ing. José Luís García Vargas, al Tec. Rad. Manuel Silva Alvarado, al Dr. José Roberto Velázquez Serratos por su apoyo y esfuerzo para hacer mi tesis realidad.

Agradezco a mis profesores a quienes también considero mis amigos.

Agradezco a **Mis directores de tesis** Dr. Jaime Reynaldo Santos Reyes y Dr. Teodoro Rivera Montalvo por su apoyo incondicional y sus muchos consejos, desvelos y enseñanzas, gracias porque sin ustedes no hubiera conseguido escalar un peldaño más del conocimiento, les

agradezco todo el empeño e interés que pusieron para conmigo, créanme que los llevo en mi corazón maestros.

Agradezco al **CONACYT** ya que me impulso durante todos mis estudios, me brindo el apoyo económico durante toda la maestría, y me permitió tener la solvencia para la realización de mis estudios.

Agradezco al Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias y al Instituto Nacional de Cancerología por abrirme sus puertas, le agradezco de sobre manera a la Institución que me abrió las puertas para llevar a cabo mi proyecto, espero y pronto se produzcan más resultados favorables para ambas partes.

Finalmente quiero agradecer al **INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL** y al **CICATA-LEGARIA** por brindarme el conocimiento anhelado y ser mi ALMA MATER, “Soy orgullosamente Politécnico por convicción y no por circunstancia”.

José Daniel Velázquez Martínez
“La Técnica al Servicio de la Patria”

De lo que tiene verdadera importancia en nuestra propia existencia, apenas nos damos cuenta, y ciertamente no debería inquietar al prójimo.
¿Qué sabe un pez del agua en que nada durante toda su vida?

Lo amargo y lo dulce vienen del exterior, lo duro de adentro, de nuestros propios esfuerzos. La mayor parte de las veces, hago lo que mi propia naturaleza me lleva a hacer.

Da rubor a ganar por ello tanto respeto y tanto amor.
Flechas de odio, también se han disparado contra mí; más nunca me alcanzaron porque, en cierto modo, pertenecían a otro mundo con el cual no tengo conexión alguna.

Vivo en esa soledad que me es penosa en la juventud, pero dichosa en los años de madurez.

“Autorretrato.” ALBERT EINSTEIN KOCH.

Contenido

Justificación	(iv)
Objetivos.....	(v)
Metodología.....	(vi)
Índice de Figuras y Tablas.....	(ix)

Capítulo 1. Introducción y justificación.....	1
1.1 Radiación y riesgos radiológicos en Hospitales.....	1
1.1.1 Radiografía (Rayos X).....	1
1.1.2 Radioterapia	3
1.1.3 Medicina Nuclear	5
1.2 Accidentes radiológicos (y no radiológicos) en Hospitales	7
1.2.1 Accidentes en radiodiagnóstico y radioterapia.....	7
1.2.2 Exposición accidental a la radiación y complicaciones en el radiodiagnóstico y la radioterapia	10
1.2.3 Descripción de algunos accidentes más recientes en hospitales en México y en el mundo	13
1.3 Necesidad de un Sistema de Gestión de Seguridad Radiológica.....	17
1.4 Conclusiones del capítulo.....	17

Capítulo 2. Marco Teórico.....	18
2.1 Física de la Radiación	18
2.1.1 Estructura de la materia	18
2.1.2 Isótopos	19
2.1.3 Núcleos que se transforman, radiactividad y concepto de actividad.....	20
2.1.4 Tipos de la radiación e interacción de la radiación con la materia	20
2.1.5 Magnitudes y unidades.....	22
2.2 Origen, riesgos y efectos biológicos de la radiación	23
2.2.1 Radiación natural	23
2.2.2 Radiación artificial	23
2.2.3 Efectos biológicos de la radiación	24
2.2.3.1 Mecanismos de acción biológica de la radiación ionizante.....	24
2.2.3.2 Clasificación de los efectos producidos por la radiación ionizante	25
2.2.3.3 Respuesta sistémica a la radiación	26
2.2.3.4 Respuesta orgánica total a la radiación	29
2.2.4 Evaluación/cuantificación del riesgo de la radiación	30
2.3 Seguridad radiológica y protección radiológica	31
2.3.1 Prevención y protección	31
2.3.2 Protección radiológica	33
2.3.3 Límites de dosis para el personal profesionalmente expuesto y para los miembros del público	34
2.4 Normas nacionales e internacionales en materia de seguridad radiológica	35
2.4.1 Leyes	35
2.4.2 Normas nacionales.....	35
2.4.3 Reglamentos	36
2.4.4 Organismos nacionales en materia de protección radiológica	37
2.4.5 Normativa internacional vigente.....	37
2.4.6 Organismos internacionales en materia de protección radiológica.....	37

2.5 Enfoques actuales a la gestión de seguridad	38
2.5.1 BS 8800: 2004-Guía para los sistemas de administración de la salud ocupacional y seguridad	39
2.5.2 OHSAS 18001: Sistemas de administración de la salud ocupacional y seguridad (OHSMS)	40
2.5.3 ANSI/AIHA Z10: Sistemas de administración de la salud y seguridad	40
2.5.4 ILO OSH 2001: Guía para los sistemas de administración de la salud ocupacional y seguridad	40
2.5.5 HSG65	40
2.6 Conclusiones del capítulo.....	42
Capítulo 3. Descripción del Sistema de Gestión de Seguridad Radiológica.....	
(SGSR) con aplicación a Hospitales	43
3.1 Descripción del SGSR con aplicación a Hospitales.....	43
3.2 Políticas efectivas de seguridad radiológica	44
3.3 Organización	49
3.4 Planeación e Implementación.....	64
3.5 Medición del desempeño.....	79
3.6 Auditoría y revisión del desempeño.....	82
3.7 Conclusiones del capítulo.....	87
Capítulo 4. Aplicación del SGSR al Departamento de Imagenología de un Hospital de Servicios en la Ciudad de México	88
4.1 El Hospital y el Departamento de Imagenología.....	88
4.1.1 El Hospital	88
4.1.2 Departamento de Imagenología.....	89
4.1.3 Productividad del área de Imagenología.....	90
4.2 Diagnostico del Departamento/Hospital usando el modelo SGSR	90
4.2.1 Diagnóstico del "Sistema de gestión de seguridad radiológica" existente	90
4.3 Comparación con las características principales del SGSR	107
4.4 Propuestas de mejora en el departamento de imagenología	108
4.4.1 Políticas	108
4.4.2 Organización-Control	111
4.4.3 Aspectos adicionales del SGSR-Imagenología	111
Capítulo 5 Discusión, Conclusiones, Aportaciones y Futuro trabajo.....	123
5.1 Discusión	123
5.2 Concusiones	125
5.3 Aportaciones e implicaciones del estudio	125
5.4 Futuro trabajo	126
6.0 Bibliografía.....	127
7.0 Anexos.....	130
Anexo A -Definiciones y Conceptos	130
Anexo B -Los rayos X en Radiología.....	137
Anexo C -Criterios para la aceptabilidad de las instalaciones de Radiodiagnóstico	147
Anexo D -Cuestionario-Departamento Imagenología.....	155

Justificación

La medicina es el área que más se ha beneficiado con la implementación de la radiación. Sin embargo, debido a que la cantidad de radiación que se emplea para la mayoría de los exámenes de diagnóstico o los tratamientos de radioterapia es mucho mayor que la de los niveles naturales, es en los usos médicos donde mejor se aprecia la necesidad de evaluación riesgos - beneficios del uso de la radiación.

Por otro lado, un gran número de accidentes radiológicos han ocurrido en Hospitales en todo el mundo (ver Capítulo 1). Lo anterior muestra la necesidad de contar con un Sistema efectivo de gestión de seguridad radiológica en hospitales. Los accidentes han demostrado que los sistemas de gestión de seguridad radiológica existentes cuando ocurrieron fueron inadecuados para prevenir dichos eventos. El presente trabajo propone un Sistema de Gestión de Seguridad Radiológica (SGSR) genérico con aplicación a hospitales y que tiene como objetivo fundamental el de *prevención* de incidentes/accidentes en Hospitales. Para lograr dicho objetivo, todos los elementos que conforman el SGSR (Política, Organización, Planeación e implementación, Medición del desempeño, Auditoría y Revisión del desempeño) tienen que estar implementados y funcionando adecuadamente. Si se cumple lo anterior se puede decir que la probabilidad de que ocurra un accidente es menor que en el caso contrario.

Objetivos

Objetivos Generales

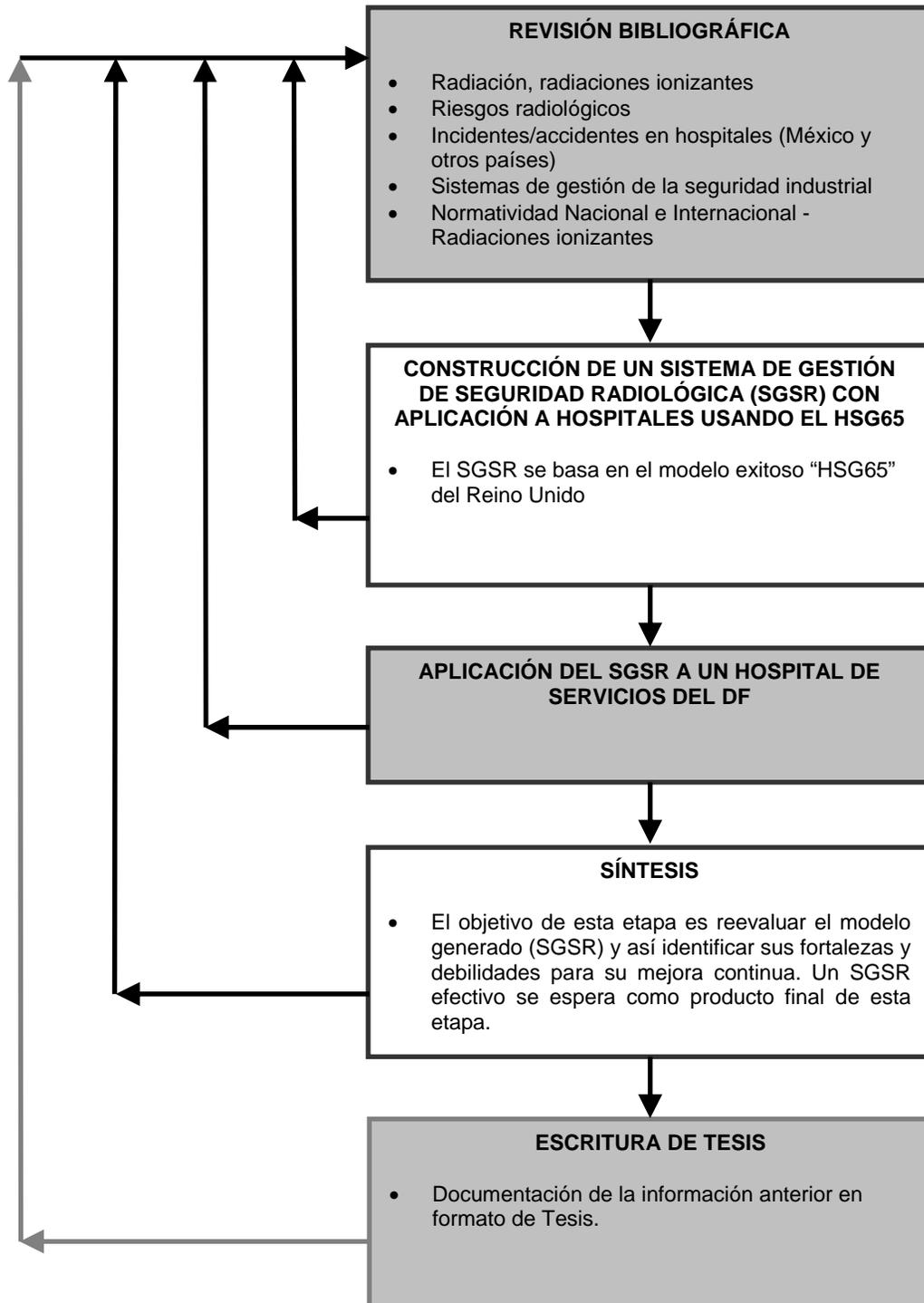
Construir un modelo de Sistema efectivo de Gestión de la Seguridad Radiológica con aplicación a Hospitales que tenga una capacidad preventiva y de mantener el riesgo radiológico dentro de un rango aceptable.

Objetivos específicos

- Llevar a acabo una revisión bibliográfica exhaustiva de toda la información relacionada con riesgos radiológicos en Hospitales. Por ejemplo, la física de la radiación; radiaciones ionizantes; riesgos radiológicos, accidentes e incidentes radiológicos; protección radiológica; sistemas administrativos de seguridad; normatividad vigente a nivel nacional e internacional, entre otros.
- Modelar un Sistema de Gestión de Seguridad Radiológica (SGSR) basado en el “HSG65” y con aplicación a Hospitales. El SGSR tiene que tener una característica genérica y aplicable a cualquier Hospital.

Metodología de investigación

En la presente tesis para cumplir con los objetivos mencionados en la sección anterior, se utilizó la siguiente metodología de investigación,



La metodología de investigación consiste de cinco etapas, incluyendo la etapa de escritura de la tesis. En resumen las etapas son las siguientes:

- {1} Revisión bibliográfica
- {2} Construcción de un Sistema de Gestión de Seguridad Radiológica (SGSR) con aplicación a Hospitales usando el modelo HSG65.
- {3} Aplicación del SGSR a un Hospital de servicios en el DF.
- {4} Síntesis.
- {5} Escritura de Tesis.

A continuación se describe brevemente cada etapa de la metodología de investigación.

{1} Revisión bibliográfica

El objetivo primordial de esta etapa es la recopilación y análisis de la información relacionada con:

- La física de la radiación, radiaciones ionizantes
- Riesgos radiológicos
- Incidentes/accidentes en hospitales (México y otros países)
- Sistemas de gestión de seguridad industrial
- Normatividad nacional e internacional - Radiaciones ionizantes
- Otros.

En los Capítulos 1, 2 y en los Anexos A, B, C y D se presenta la información anterior en el contexto de la Tesis.

{2} Construcción del SGSR usando el “HSG65”

El objetivo de esta etapa es construir un SGSR para su aplicación en cualquier tipo de hospitales. Los principios del HSG65 se usaron en la construcción del modelo. Posteriormente se incorporaron otros conceptos y ejemplos relacionados con protección y riesgos radiológicos. El Capítulo 3 presenta la descripción del modelo desarrollado así como las referencias a otros documentos que se usaron para la ilustración del mismo.

{3} Aplicación del SGSR a un Hospital de servicio del DF.

En esta etapa se uso el SGSR formulado para diagnosticar el Departamento de Imagenología de un Hospital de servicio en el D.F. en materia de seguridad radiológica con el propósito de identificar fortalezas y debilidades del modelo generado. El Capítulo 4 presenta la descripción del caso de aplicación.

{4} Síntesis

El objetivo de esta etapa es reevaluar el prototipo del SGSR de acuerdo con las debilidades y fortalezas detectadas en la etapa anterior. Un SGSR efectivo se espera como producto final de esta etapa. El Capítulo 5 presenta una discusión de esta etapa.

{5} Escritura de tesis

El objetivo de esta etapa es escribir la tesis.

Cabe mencionar que la metodología empleada de investigación es cíclica; es decir, cada etapa puede ser llevada a cabo las veces que sean necesarias hasta obtener los resultados deseados. En este contexto, la presente forma del SGSR puede ser mejorada continuamente. Para más detalles acerca del futuro trabajo ver el Capítulo 5.

Índice de Figuras

Figura 1.1 Tomógrafo axial computarizado.....	2
Figura 1.2 Acelerador Lineal (LINAC)	4
Figura 1.3 Imágenes en la <i>Medicina Nuclear</i>	6
Figura 1.4 Gamma-cámara de un cabezal.....	6
Figura 2.1 Isótopos de hidrógeno.....	19
Figura 2.2.Capacidad de penetración en la materia de los distintos tipos de radiación	20
Figura 2.3 Representación esquemática de un evento crucial	31
Figura 2.4 Diferencia entre prevención y protección en relación a un evento crucial	32
Figura 2.5 La <i>radiación</i> como evento crucial.....	32
Figura 3.1 Administración exitosa de la salud y seguridad (HSG65)	43
Figura 3.2 Relación entre factores que afectan el desempeño de un Hospital en materia de seguridad radiológica	46
Figura 3.3 Metodología “Planear-Hacer-Verificar-Actuar” para la gestión efectiva de la salud y seguridad radiológica.....	48
Figura 3.4 Control-Estructura Genérica Organizacional de un Hospital en relación a la seguridad radiológica	52
Figura 3.5 Estructura organizacional de la DSR	53
Figura 3.6 Sistema de Gestión de Seguridad Radiológica (SGSR) con con aplicación a Hospitales.....	66
Figura 4.1 Percepciones en materia de seguridad radiológica del personal del Departamento de Imagenología.....	92
Figura 4.2 Porcentaje de exámenes más solicitados de rayos X (RX) en el Hospital en agosto del 2007	93
Figura 4.3 Equipo para el radiodiagnóstico SIEMENS POLYPHOS 30.....	99
Figura 4.4 Gráfica de los estudios de radiografía Torax-AP, agosto 2007	101
Figura 4.5 Grafica de los estudios de radiografía AP en niños y bebes, agosto 2007.....	102
Figura 4.6 Gráfica de dosis promedio impartida a paciente para RX de Tórax, hospital, octubre de 2007	106
Figura 4.7 Gráfica de dosis promedio impartida a paciente para RX de tórax de niños, hospital, octubre de 2007	106
Figura 4.8 SGSR-Imagenología	110
Figura 4.9 Organigrama de la asignación de responsabilidades en relación a la Seguridad Radiológica del Departamento de Imagenología	112
Figura 4.10 Árbol de fallas de posibles factores causales que pueden conducir a la exposición de radiación (accidente o incidente) para el caso de radiodiagnóstico	115
Figura 4.11 Continuación de la Fig. 4.10: Caso de radiodiagnóstico.....	116
Figura 4.12 Continuación de las Fig. 4.10 y 4.11: Caso de radiodiagnóstico	117
Figura 4.13 Continuación de las Fig. 4.10, 4.11 y 4.12: Caso de radiodiagnóstico	118
Figura 4.14 Árbol de fallas de posibles factores causales que pueden conducir a la exposición de radiación (accidente o incidente) para el caso de Radioterapia.....	119
Figura 4.15 Continuación de la Fig. 4.14:Caso de Radioterapia.....	120
Figura 4.16 Continuación de las Fig. 4.14 y 4.15: Caso de Radioterapia	121
Figura 4.17 Continuación de las Fig. 4.14, 4.15 y 4.16: Caso de Radioterapia	122
Figura 5.1 Diferencia entre prevención y protección en relación a un evento crucial	124
Figura 5.2 El SGSR incluye ambos: <i>Prevención y Protección</i>	124

Índice de Tablas

Tabla 1.1 Accidentes mayores en la radioterapia	7
Tabla 1.2 Pérdida del control de la fuentes de radiación: casos del fallecimiento de los miembros del público	8
Tabla 1.3 Pérdida del control de la fuentes de radiación: casos de lesiones graves	9
Tabla 2.1 Exposición a la radiación en calidad de paciente en radiodiagnóstico	24
Tabla 2.2 Evaluación de los límites de dosis	31
Tabla 2.3. Límites anuales de dosis para los trabajadores expuestos.....	35
Tabla 2.4 Límites anuales de dosis para los miembros del público	35
Tabla 4.1 Número de Casetes con los que cuenta el Departamento de Imagenología.....	93
Tabla 4.2 Total de estudios realizados en 6 meses en el Departamento de Imagenología.....	95
Tabla 4.3 Resultados del número de estudios por casete en 6 meses.....	95
Tabla 4.4 Resultados del número de meses necesarios para cambiar un casete.....	96
Tabla 4.5 Valores de referencia en grafía para adultos (RD 1976/1999, Directiva 97/43/EURATOM)	97
Tabla 4.6 Niveles de referencia para diagnóstico médico con rayos X (NOM-229-SSA1-2002)	98
Tabla 4.7 Resultados de los estudios de radiografía Torax-AP, agosto 2007	100
Tabla 4.8 Resultados de los estudios de radiografía AP en niños y bebés, agosto 2007	102
Tabla 4.9 Resultados de estudio de radiografías de Cráneo, agosto 2007	103
Tabla 4.10 Resultados de estudio de radiografías de Cuello, Abdomen, Brazo, Lat. Rino, Rodilla, Torax Lat. Izq y Der., agosto 2007.....	104
Tabla 4.11 Resultados de estudio de radiografías de Columna y Cadera, agosto 2007	104
Tabla 4.12 Características de las técnicas adoptadas para la reducción de DSE	105
Tabla 4.13 Resumen del diagnóstico al Departamento de Imagenología de un Hospital de servicios del DF	107
Tabla 4.14 Aspectos adicionales del elemento "Organización" del SGSR	111
Tabla 4.15 Aspectos adicionales del elemento "Planeación e implementación" del SGSR	113
Tabla 4.16 Aspectos adicionales de los elementos "Medición del Desempeño" y "Auditoría y Revisión" del SGSR.....	114

Introducción - Justificación

En resumen, este capítulo trata de justificar el porqué la necesidad del desarrollo de un Sistema de Gestión de Seguridad Radiológica con aplicación a Hospitales. El capítulo empieza con una breve descripción de la aplicación de la radiación en Hospitales en la sección 1.1. Posteriormente en la sección 1.2 se listan varios accidentes radiológicos que han ocurrido en los hospitales en diferentes países. La justificación del tema de investigación se expone en la sección 1.3. Finalmente, conclusiones del capítulo se presentan en la sección 1.4.

1.1 Radiación y riesgos radiológicos en Hospitales

La medicina es el área que más se ha beneficiado con la implementación de la radiación. En esta sección se explican algunas de las múltiples técnicas de diagnóstico y de tratamiento de enfermedades en las que se usa la radiación. Se describen las bases físicas de la radiografía, la medicina nuclear y la radioterapia, así como sus principales ventajas clínicas. Debido a que la cantidad de radiación necesaria para la mayoría de los exámenes de diagnóstico o los tratamientos de radioterapia rebasa los niveles naturales, es en los usos médicos donde mejor se aprecia la necesidad de evaluación riesgos – beneficios del uso de la radiación.

Algunas de las aplicaciones de la radiación en la medicina son:

{1} Radiografía

{2} Radioterapia

{3} Medicina Nuclear

1.1.1 Radiografía (Rayos X)

Una de las aplicaciones más comunes de radiación en medicina es el uso de los rayos X (*radiografía*) para los exámenes de diagnóstico (conocido también como *radiodiagnóstico*). Los rayos X son producidos en un tubo de vidrio al vacío que se encuentra en el interior del aparato metálico frente al cual se ubica al paciente. Después de que se produce la radiación, se transmite en línea recta y a la velocidad de la luz, penetra el cuerpo del paciente, lo atraviesa, sale por el otro lado, y se encuentra con una placa radiográfica (similar en muchos aspectos a una película fotográfica) donde quedará grabada una imagen anatómica del interior del cuerpo. (Ver Capítulo 2 o Anexo A para más detalles técnicos acerca de cómo se forma la imagen del interior y las características de los rayos X).

En los últimos cuarenta años se ha logrado obtener imágenes radiográficas de sólo un plano del cuerpo, ya sea transversal o longitudinal. A esta técnica se le llama *tomografía*. Si la imagen es de un plano transversal, es decir perpendicular al eje vertical del cuerpo, y su análisis se realiza con una computadora, la técnica se conoce como tomografía axial computarizada (TAC) (Ver Fig.1.1). Para conseguir estas imágenes se utiliza un tubo de rayos X giratorio que da una vuelta alrededor del paciente, en el plano de interés, emitiendo radiación que atraviesa el cuerpo desde muchísimos ángulos. La absorción del haz para cada ángulo se mide con detectores electrónicos que giran al otro lado del cuerpo, al unísono con el tubo emisor. Hace más de diez años, un examen TAC se tardaba un par de minutos; actualmente, los modelos más avanzados de tomógrafos lo efectúan en pocos segundos.



Figura 1.1. Tomógrafo axial computarizado

El procedimiento no causa dolor, sin embargo, la dosis absorbida durante un examen tomográfico puede llegar a ser de algunos rads (más que toda la radiación natural recibida en cinco años), por lo que su empleo debe limitarse a aquellos casos en que sea indispensable para lograr el diagnóstico e imposible de realizar con otra técnica de menor riesgo.

Existen, además, otras técnicas que se conocen con el nombre de radiología armada, las cuales permiten introducir, bajo control radiológico, distintos equipos al cuerpo del paciente. Estos aparatos permiten realizar acciones terapéuticas o de diagnóstico sin necesidad de operar. Es posible, por ejemplo, dilatar y obliterar vasos sanguíneos, así como obtener biopsias de tejidos profundos.

Los progresos de la radiología no se deberían medir considerando solamente el mejoramiento en la calidad de las imágenes obtenidas, pues es más importante la amplia difusión de sus técnicas a todos los rincones del mundo.

Debido al gran número de personas sometidas a exámenes radiográficos cada año, ha sido muy significativo desarrollar métodos para reducir la exposición de cada paciente a la radiación, sin descuidar la calidad de la imagen. Con técnicas de alto voltaje, por ejemplo, se produce radiación de mayor energía que fácilmente atraviesa el cuerpo del paciente y contribuye en gran parte a formar la imagen. Si la energía fuera menor, como ocurría con los aparatos más antiguos, la radiación de baja energía contenida en los rayos X la absorbería el paciente y no contribuiría a que se formara la imagen. Ahora se utilizan filtros que reducen aún más la radiación poco penetrante. Otro inconveniente conocido desde los inicios del radiodiagnóstico era la exposición de grandes zonas del cuerpo que no necesariamente requerían ser visualizadas. El empleo de colimadores, cada vez mejor diseñados, permite irradiar solamente la zona de interés reduciendo así la exposición innecesaria.

1.1.2 Radioterapia

Las técnicas de diagnóstico, como es la radiografía, aprovechan la capacidad que tiene la radiación de atravesar el cuerpo y entregar información en el exterior. Una filosofía opuesta es la que rige el uso de la radiación como herramienta terapéutica. La *radioterapia* intenta maximizar la absorción de la radiación dentro del cuerpo, de modo que la energía originalmente transportada por los rayos se deposite en una zona del cuerpo ocupada por un tumor, ocasionando tanto daño local como sea posible.

La limitación en la cantidad de radiación usada en radioterapia se debe al hecho inevitable de que el tejido sano que rodea al tumor también resulta irradiado, por lo cual se produce, de modo paralelo al efecto deseado, un efecto negativo para la salud del paciente. La radioterapia busca entonces el óptimo equilibrio entre una máxima irradiación al tumor y una mínima irradiación al tejido sano vecino. Este es el único caso en el que, al aplicar gran cantidad de radiación a un ser vivo, se produce un beneficio.

La radiación más utilizada en radioterapia es la que proviene del elemento cobalto-60. El núcleo de cobalto-60 es inestable y al decaer se emite radiación electromagnética (rayos gamma) de alta energía. Son estos rayos los que se orientan hacia el tumor durante el tratamiento. Otro elemento utilizado en radioterapia es el cesio-137, que también decae y produce rayos gamma, pero de menor energía que aquellos del cobalto-60. La vida media de estos núcleos es de algunos años, lo que quiere decir que la actividad disminuye apreciablemente con el transcurso de los años. Las fuentes radiactivas deben ser reemplazadas periódicamente en los hospitales y clínicas para asegurar que los tratamientos brinden la dosis apropiada en un tiempo de irradiación no demasiado largo.

Además de los rayos gamma existen otras técnicas de radioterapia que usan diferentes radiaciones para lograr una mejor localización de la dosis en la zona del tumor, una mejor penetración, o una mayor efectividad biológica. Los principales departamentos de radioterapia cuentan hoy en día con aceleradores de electrones (llamados Linac) que producen haz de electrones y también rayos X de alta energía (Ver Fig.1.2). Los electrones son partículas que penetran débilmente el cuerpo humano, por lo que su uso es ideal para el tratamiento de tumores superficiales, en

que se desea concentrar la dosis en unos pocos centímetros bajo la piel. La modalidad de rayos X de un Linac presenta varias ventajas respecto de los rayos gamma del cobalto-60. Los primeros pueden ser mucho más intensos que los segundos, acortando el tiempo de tratamiento; debido a su alta energía son más penetrantes y depositan una dosis mayor en profundidad; su excelente definición geométrica permite proteger mejor las estructuras vitales vecinas al tumor. Aunque se reconozcan las ventajas de un Linac respecto de una fuente de cobalto - 60, hay que estar conscientes de la gran simplicidad del manejo de esta última, en comparación con el trabajo que requiere la operación de un acelerador dentro de un ambiente hospitalario. En países desarrollados, la operación de un Linac requiere la presencia permanente de un físico médico, que es un profesional interdisciplinario especializado. En países tercermundistas, este tipo de profesional no siempre existe.



Figura 1.2 Acelerador lineal (LINAC)

En unos pocos centros hospitalarios del mundo se usan otras partículas nucleares en radioterapia: neutrones, protones, partículas alfa, piones, o iones pesados. Cada técnica tiene ventajas y desventajas, dependiendo del tipo de tumor que se trate, pero todas comparten una característica: un altísimo costo económico. Los centros que las utilizan están generalmente asociados a un laboratorio de física nuclear o de altas energías, con el que comparten el uso de un acelerador. Los tratamientos con estas partículas todavía se consideran en una etapa de investigación.

El desarrollo de la energía nuclear también ha repercutido favorablemente en el campo de la radioterapia, pues aumentó el número de elementos radiactivos posibles de usar en implantaciones internas, procedimiento llamado **braquiterapia**. Esta técnica consiste en introducir la sustancia radiactiva, contenida dentro de semillas o agujas selladas, al interior de una cavidad del paciente donde se encuentra un tumor y dejarla durante un tiempo. El efecto que se aprovecha es la corta distancia entre la fuente radiactiva y el volumen por irradiar, lo que proporciona dosis relativamente altas en la zona cercana a la fuente y dosis bajas en regiones alejadas. Su uso en

particular es indicado para los casos de cáncer en cavidades del cuerpo humano, como el cáncer en el útero, en la cavidad oral, o bien en lesiones accesibles a ser implantadas por ser superficiales; o bien en tumores profundos, utilizando la cirugía como vía de acceso. Desde comienzos de este siglo, el radio ha sido el elemento más usado en *braquiterapia*, pero debido a que en su decaimiento pasa por un elemento gaseoso (el radón), es posible que las agujas selladas que contienen el material radiactivo presenten fugas (causadas por rupturas producidas durante la inserción y remoción de las agujas del cuerpo del paciente) que pueden ocasionar exposiciones innecesarias para el paciente y el personal hospitalario. Hoy en día, los organismos internacionales recomiendan no adquirir nuevas cantidades de radio para tratamientos de *braquiterapia*. Los hospitales que ya lo posean deberán sustituirlo, dentro de sus posibilidades económicas, por otra sustancia. Entre éstas, el cesio-137 es el que tiene mejores cualidades. Los organismos internacionales recomiendan que no se done el radio sustituido a otros países o instituciones para uso médico, pues así se conseguiría dentro de algunos años la total eliminación del radio en los hospitales del mundo.

Con mucho menor riesgo que el radio se puede usar en *braquiterapia* otros isótopos como el yodo-131, que con una vida media de 7 días, es ampliamente utilizado en los problemas de la glándula tiroides. El fósforo-32 tiene una vida media de dos semanas y ha sido usado en el tratamiento de problemas hematológicos, en las cavidades abdominal y pleural, en cáncer de la próstata, etc. Estos dos isótopos, por su vida media tan corta, son introducidos directamente al organismo y ahí residen hasta que terminan de decaer.

1.1.3 Medicina Nuclear

Existe otra especialidad médica dedicada fundamentalmente al diagnóstico y que también hace uso de la radiación. Se trata de la *medicina nuclear*, que comprende técnicas para obtener imágenes de los órganos internos o del esqueleto. Estas imágenes no representan solamente la estructura anatómica del órgano visualizado, sino que también aportan datos muy importantes sobre su estado de funcionamiento (Ver Fig.1.3). Para lograr estas imágenes, la medicina nuclear utiliza elementos radiactivos que se producen generalmente en reactores nucleares. Cantidades pequeñísimas de estas sustancias son introducidas al paciente, ya sea por vía oral, intramuscular o intravenosa, y dependiendo del elemento utilizado van a depositarse en el órgano o tejido específico que se desea estudiar. Los núcleos de estos radioisótopos emiten espontáneamente radiación desde el interior de los tejidos, la cual atraviesa el cuerpo y sale al exterior, donde puede ser detectada por instrumentos especiales. Las imágenes se graban en película fotográfica, pero no de manera directa, sino a través de detectores electrónicos muy complejos que permiten observar cada uno de los rayos provenientes del paciente, amplificar la señal y convertirla en luz que se registrará en la placa fotográfica. Este sistema permite que la cantidad de material radiactivo (y por ende la dosis) que el paciente reciba sea extraordinariamente baja.



Figura 1.3 Imágenes en la *Medicina Nuclear*

La información obtenida a partir de estos estudios permite conocer la cantidad del radioisótopo que se depositó en el órgano, la velocidad a que ocurre esta acumulación, o bien la velocidad a que lo desecha, y así conocer detalles de la capacidad funcional del órgano estudiado. Por otra parte, la imagen permite ver la distribución del material radiactivo, comprobar si es homogénea, como ocurre en los órganos sanos, o identificar zonas de concentración irregular cuyas características permiten, por ejemplo, advertir la presencia de un tumor o un quiste.

En la actualidad existen instrumentos llamados gamma-cámaras o cámaras de centelleo (Ver Fig. 1.4), que cuentan con un gran número de detectores que operan simultáneamente. Estos detectores están controlados por un sistema computarizado que permite registrar procesos dinámicos como, por ejemplo, la función de los riñones. En este caso se puede medir la capacidad de eliminación de orina de cada riñón, su paso hacia la vejiga, las condiciones en que ésta se llena, etc. Otros estudios similares son la observación del paso de la sustancia radiactiva por las cavidades del corazón, con lo que se puede medir su volumen y eficacia para impulsar la sangre. Igualmente se puede medir la cantidad de sangre que circula por minuto por alguna parte del cerebro. Estas imágenes que combinan datos tanto estructurales como funcionales hacen que, en algunos casos de padecimientos vasculares, cardiacos, respiratorios, cerebrales y hepáticos, la medicina nuclear entregue al médico información más precisa que la que se podría obtener con rayos X u otras formas de diagnóstico.

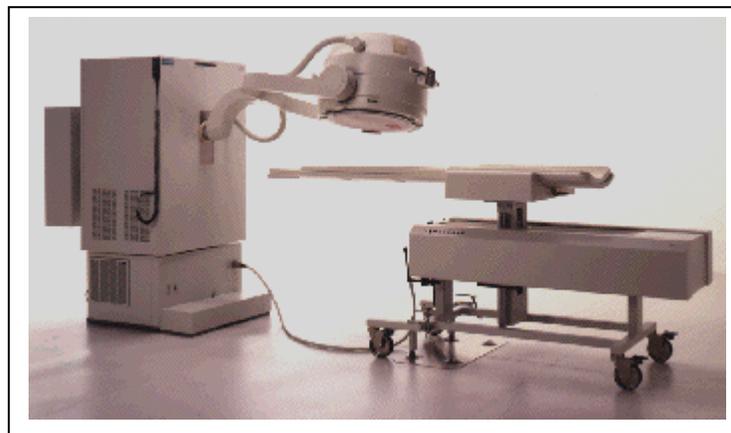


Figura 1.4 Gamma-cámara de un cabezal.

Otro empleo de los átomos radiactivos en medicina nuclear es en el *tratamiento de algunas enfermedades*, como, por ejemplo, el yodo radiactivo en el tratamiento de la glándula tiroides, que ya fue mencionado como una técnica de radioterapia. Actualmente se investiga la preparación de un gran número de moléculas, en especial del tipo de los anticuerpos, capaz de fijarse en forma específica a diversas clases de tumores. A estas moléculas se les puede agregar radioisótopos que emiten radiación beta, con un procedimiento llamado "marcado". Las partículas de la radiación beta (electrones), son poco penetrantes y por lo tanto depositarán su energía en la cercanía de la molécula marcada, es decir en el tumor. De esta manera se conseguiría destruir al tumor en su ubicación original sin dañar los tejidos vecinos.

Una tercera rama de la medicina nuclear es el *radioinmunoanálisis*, en que no se administran radioisótopos al paciente sino a muestras de su sangre u orina. Como lo indica su largo nombre, se trata de técnicas que utilizan la radiación para analizar sustancias dependiendo de sus propiedades inmunológicas. Las sustancias radiactivas son incorporadas a un anticuerpo específico para la sustancia que se desea analizar, que puede ser una hormona, una vitamina, un medicamento, una enzima, o incluso un virus. Cuando estos anticuerpos marcados se agregan a la muestra de sangre u orina, el anticuerpo se dirige hacia la hormona, droga o enzima correspondiente y la detección de la radiación emitida permite medir las cantidades de la sustancia de interés. En vista de que los detectores de radiación son capaces de notar la presencia de unos pocos núcleos radiactivos, estos métodos de análisis se caracterizan por su extrema sensibilidad y pueden cuantificar cantidades tan pequeñas como billonésimas de gramo (¡la milésima parte de una millonésima de gramo!). Hoy, éste es el método de diagnóstico, que utiliza radiactividad, más usado en el mundo (y no se expone al paciente a la radiación).

1.2 Accidentes radiológicos (y no radiológicos) en Hospitales

1.2.1 Accidentes en radiodiagnóstico y radioterapia

En la Tabla 1.1 se listan los accidentes mayores que han ocurrido en la radioterapia del haz externo y en la braquiterapia en los últimos 35 años en diferentes países. Además se presentan las deficiencias más importantes, comunes en la mayoría de los accidentes, que fueron causas y los factores de mayor contribución en estos accidentes.

Tabla 1.1 Accidentes mayores en la radioterapia (Van Dyk, 1999; Wojcick, 2004; IAEA, 2004).

País	Año	No. de pacientes afectados	Causas y factores de mayor contribución
EUA	1974-76	426	Cálculos de la dosis del cobalto-60 basados en un esquema equivocado de decaimiento (sobredosis). No hubo una verificación independiente del esquema de decaimiento y del cálculo de la dosis. Más de dos años sin medición de la intensidad del haz de radiación. Los físicos encargados y de atención se dedicaban a

			otras tareas, como, por ejemplo, nuevo acelerador.
Reino Unido	1982-91	1045	Comprensión y verificación incompletas de un sistema de planeación del tratamiento (sobredosis más de 30%). Falta de procedimientos escritos para el desecho. 492 pacientes desarrollaron una recurrencia local probablemente debido a la sobredosis.
EUA y Canadá	1985-87	6 (3 muertos)	Problemas con el software del acelerador. El software diseñado para un acelerador más antiguo se uso para uno nuevo que tenía diseño muy diferente.
Alemania	1986-87	86	Cálculos de la dosis del cobalto-60 basados en las tablas equivocadas (sobredosis). No se llevó a cabo una determinación independiente de la cantidad de la dosis.
EUA	1987-88	33	Re-uso de un archivo anticuado de la computadora en un tratamiento con cobalto-60. No se disponía de la información necesaria. No se verificó el manual para los cálculos de la dosis.
Reino Unido	1988	207	Error en la calibración de una unidad terapéutica de cobalto-60 (25% de sobredosis). No se llevó a cabo una calibración independiente del haz.
Reino Unido	1988-89	22	Error en la identificación de las fuentes de Cesio-137 en la braquiterapia (desde -20% hasta +10% de errores en la dosificación). No se llevó a cabo una determinación independiente de la potencia del haz.
España	1990	27 (25 muertos)	Error en el mantenimiento de un acelerador lineal clínico (LINAC). Los procedimientos no se llevaron a cabo de la manera correcta (un cable no se conectó bien). Además falló la comunicación entre el técnico del mantenimiento y el personal médico. Las señales y los indicios del conflicto fueron ignorados. Los procedimientos de verificación periódica del haz no se llevaron a cabo. Sobredosis desde 200% hasta 700%.
EUA	1992	1 muerto	La fuente de braquiterapia (una dosis alta) se quedo dentro del paciente. La fuente se "resbaló" del dispositivo. Las señales y los indicios del conflicto y de la sobreexposición fueron ignorados.
Costa Rica	1996	115 (por lo menos 5 muertos)	Error en el cálculo durante la calibración de una unidad terapéutica con la fuente de cobalto-60. Ausencia de la calibración independiente y de la verificación periódica del haz independiente. Las recomendaciones de una auditoría externa fueron ignoradas. Sobredosis aproximadamente de 60%.
Panamá	2000	28 (por lo menos 5 muertos)	Cambio no verificado del procedimiento de introducción de datos en un Sistema de Planeación del Tratamiento (SPT). Ausencia de los procedimientos escritos para el uso del SPT. No se verificaron los datos con un cálculo manual. Sobredosis de 100%.
Polonia	2001	5	Falla de un acelerador lineal (LINAC) que provocó una sobreexposición significativa de los pacientes. La interrupción en el suministro de energía eléctrica que causó la quemadura del fusible que controlaba la cámara del monitoreo de la dosis.

En las Tablas 1.2 y 1.3 se presenta un resumen de algunos accidentes relacionados a la pérdida del control de las fuentes de radiación de los equipos que se emplean en el radiodiagnostico y la radioterapia.

Tabla 1.2. Pérdida del control de las fuentes de radiación: casos de fallecimiento de los miembros del público (Ortiz, 2000; IAEA, 1988, 1990, 1993, 1996, 1998).

*Detalles acerca de las magnitudes y las unidades empleadas en la medición de la radiación ionizante así como de la actividad de los materiales radiactivos se describirán en la sección 2.1.5 del Capítulo 2 y en el Anexo B.

Año	Lugar	Elemento radiactivo	Fuente	Dosis estimada*	Número de muertos	Observaciones
1962	Ciudad de México	Cobalto-60	Radiografía industrial	9.9-52 Gy	4	
1963	China	Cobalto-60	Irradiador industrial	0.2-80 Gy	2	La fuente fue trasladada a una casa desde un depósito de basura.
1984	Maruecos	Iridio-192	Radiografía industrial	Desconocida	8	Pérdida del control de la fuente (falla en el control del retiro del empaquetado)
1987	Goiania, Brasil	Cesio-137	Teleterapia medicinal	Más de 7 Gy (externa y interna)	4	La unidad de radiación con la fuente no asegurada después de su retiro del servicio.
1992	China	Cobalto-60	Irradiador industrial	0.25-10 Gy local	3	La fuente del irradiador fue trasladada a una casa después de que fue retirada del servicio
1994	Tammiku, Estonia	Cesio-137	Deposito de basura	4 Gy - todo el cuerpo, 1800 Gy - local	1	Pérdida del control de la fuente; almacenamiento inseguro de basura.
1997	Georgia	Cobalto-60	Teleterapia medicinal	Desconocida	1	Una fuente no asegurada en su traslado al lugar de origen después del mantenimiento.

Tabla 1.3. Pérdida del control de las fuentes de radiación: casos de lesiones graves (Ortiz, 2000; IAEA, 1988, 1990, 1993, 1996, 1998).

*Detalles acerca de las magnitudes y las unidades empleadas en la medición de la radiación ionizante así como de la actividad de los materiales radiactivos se describirán en la sección 2.1.5 del Capítulo 2 y en el Anexo B.

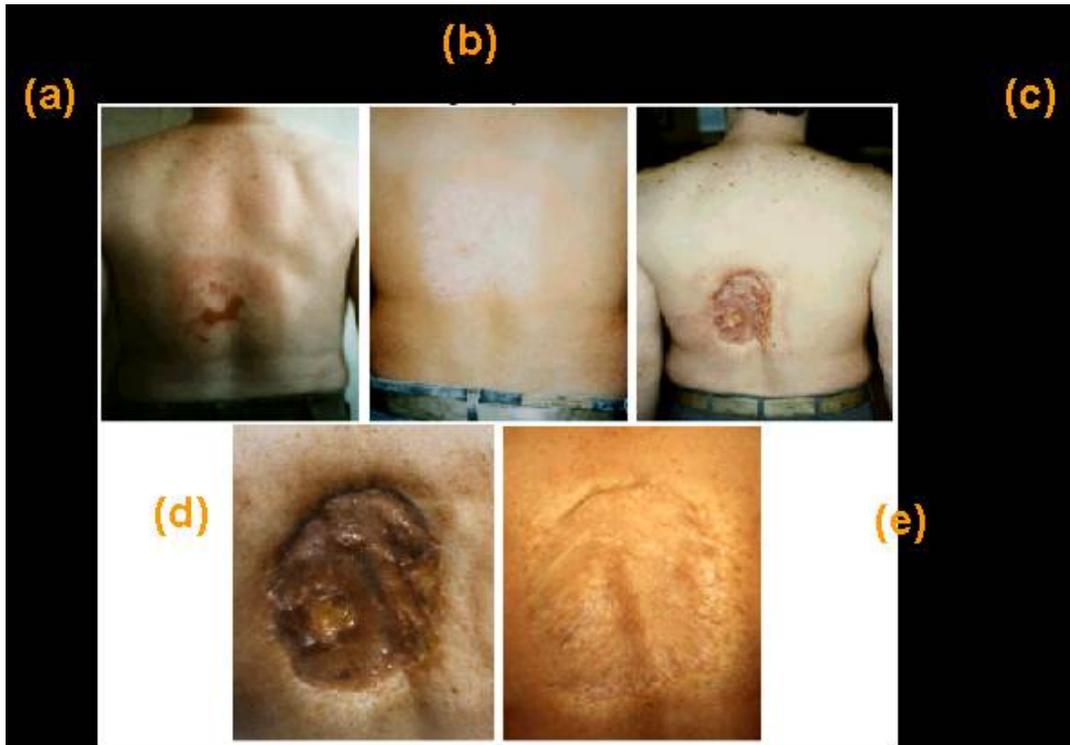
Año	Lugar	Elemento radiactivo	Actividad radiactiva*	Fuente	Dosis estimada*	Consecuencias
1968	La Plata, Argentina	Cesio-137	Desconocida	Radiografía industrial	Desconocida	Amputación de ambas piernas y esterilidad permanente.
1971	Chiba, Japón	Iridio-192	5.26 Ci	Radiografía industrial	Desde 0.15 a 1.3 Gy (en todo el cuerpo)	Seis personas expuestas (trabajadores de la construcción); tres de ellas con síndrome agudo.
1978	Argelia	Iridio-192	25 Ci	Radiografía industrial	De 1 a 1.4 Gy (en todo el cuerpo); 25 Gy (dosis en la piel)	Exposición de una familia incluyendo dos niños; amputación de los dedos, implantación y daños en la nalga, lesiones en la boca; otros cuatro pacientes sufrieron síndrome agudo.
1979	Los Ángeles,	Iridio-192	28 Ci	Radiografía industrial	Desconocida	11 personas fueron expuestas, una de ellas

	EUA					requirió el transplante de piel en la nalga
1977	Los Ángeles, EUA	Iridio-192	260 GBq (7Ci)	Radiografía industrial	Más de 10 Gy en los dedos y más de 50 Gy en la piel del pecho.	Amputación de los dedos de ambas manos, transplante de piel en el pecho.
1978	Los Ángeles, EUA	Iridio-192	300 GBq (8Ci)	Radiografía industrial	10 Gy local	Lesión de 18 cm x 18 cm en el pecho
1983	Ciudad Juárez, México	Cobalto-60	15 GBq	Teleterapia medicinal	De 3.0 a 7.0 Gy (cinco personas) y desde 0.25 a 3.0 Gy (75 personas)	Síndrome agudo
1999	Yanango, Perú	Iridio-192		Radiografía industrial	Desconocida	Amputación de una pierna
1999	Estambul, Turquía	Cobalto-60		Teleterapia medicinal	Desconocida	10 personas con síndrome agudo
1996	Lilo, Georgia	Cesio-137	Cuatro fuentes 150 GBq (2Ci c/u)	Fuentes que fueron utilizados por el ejercito y después fueron abandonadas	Desconocida	Lesiones múltiples
1996	Irán	Iridio-192		Radiografía industrial	Desconocida	11 personas con lesiones de radiación

1.2.2. Exposición accidental a la radiación y complicaciones en el radiodiagnóstico y la radioterapia.

A continuación se describen algunos casos de la exposición accidental a la radiación en hospitales así como de las complicaciones del radiodiagnóstico y de la radioterapia. Las consecuencias de los mismos se ilustran con las fotografías.

Caso-1: Al paciente se le realizó el angiograma de rayos X y la angioplastia coronaria dos veces al día, seguidos por un trasplante bypass de la piel debido a la complicación. Dosis aproximada 20 Gy (ICRP 85).



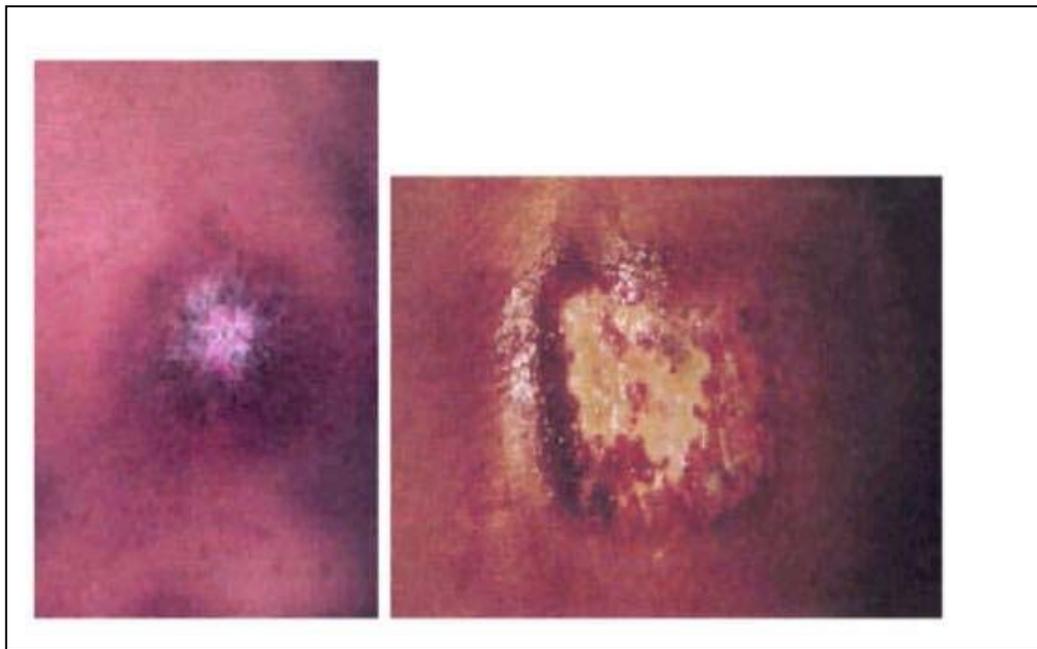
- (a) 6-8 semanas después de los procedimientos de angiografía y angioplastia coronaria múltiple.
- (b) 16-21 semanas después
- (c) 18-21 meses después de los procedimientos, se observa una necrosis del tejido.
- (d) Fotografía de cerca de la lesión que se muestra en (c).
- (e) Fotografía después del trasplante de piel.

Caso-2. Neuroradiología: embolización arterial por el AVM orbital dos veces con intervalo de 3 días. Dosis total ≈ 8 Gy (ICRP 85).



Fotografía que muestra depilación temporal de la región occipital derecha del cráneo 5-6 semanas después la embolización. Recrecimiento (más canoso que original) se reportó después de 3 meses.

Caso-3. Radiodermatitis crónica (ICRP 85).



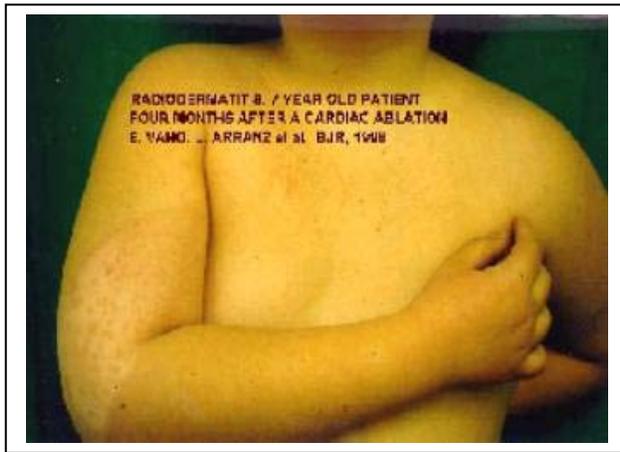
(a)

(b)

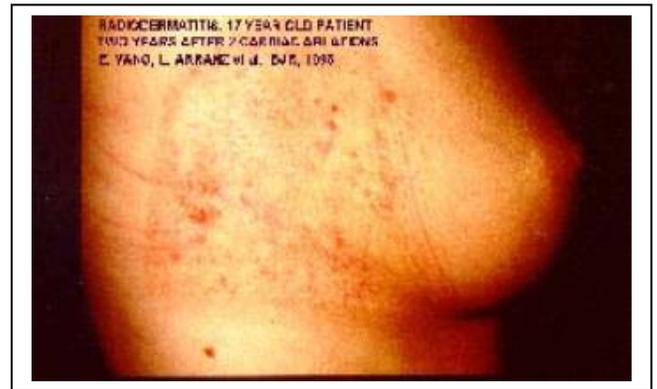
a) Placa esclerótica con pérdida de pigmentación en el centro y una hiperpigmentación alrededor, en la espalda de un paciente después de los procedimientos del TIPS (Shunt Porto-Sistémico Transyugular Intrahepático). Estos cambios estaban presentes 2 años después de los procedimientos y se describieron como una típica radiodermatitis crónica.

b) Placa ulcerosa con el área rectangular de hiperpigmentación alrededor, en la espalda de un paciente.

Caso-4: Radiología de intervención (ICRP 85). Efectos de dermatitis (daños en la piel) son relevantes y se reportan numerosos casos en muchos países.



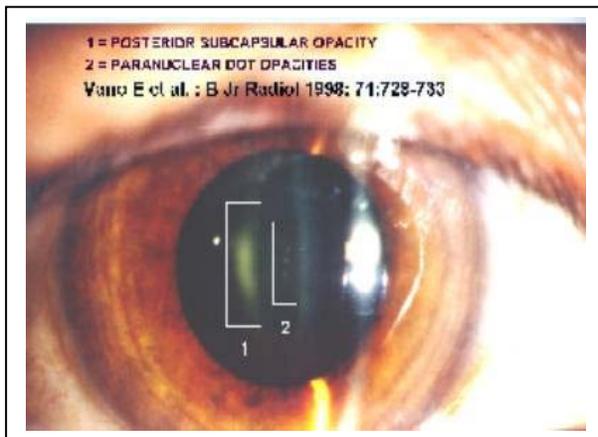
(a)



(b)

(a) y (b) Las lesiones en la piel después de una ablación cardiaca en dos pacientes muy jóvenes (E. Vañó, entre otros)

Caso-5: Lesiones Ocupacionales (ICRP 85).



Efectos determinísticos en la vista de los médicos especialistas pueden ser relevantes en el caso si los sistemas de X-rayos para los procedimientos de intervención no son apropiados.

1.2.3 Descripción de algunos accidentes más recientes en hospitales en México y en el mundo.

{1} **Unidad de medicina nuclear del Hospital de Especialidades del Centro Médico Nacional “SIGLO XXI”. Diciembre 2002. (Cruz, 2003; González, 2003).**

Siete trabajadores se contaminaron con yodo radioactivo (yodo-131). Según Cruz (2003) los familiares de los afectados denunciaron que ninguna autoridad se ha preocupado por la salud de los trabajadores afectados. Algunas de las personas afectadas han empezado a tener malestares físicos. Luego de varios análisis clínicos se determinó que padecen *hipotiroidismo* (dicho mal se caracteriza por cansancio, somnolencia, caída de cabello, piel reseca,

aumento de peso y lentitud de pensamiento). Según Cruz la CNSNS únicamente determinó que el personal expuesto se mantuviera fuera de toda actividad que involucre el uso de material radiactivo por lo menos durante un año y en espera del dictamen definitivo todavía pendiente. Por otro lado, se cree que este es el primer caso de contaminación por una sustancia radiactiva del que se tiene conocimiento en México. Sin embargo, "parece que el IMSS, la CNSNS, el ININ y la PGR no tienen ningún interés por esclarecer los hechos y sancionar a los responsables". Por falta de información no es sabido oficialmente cuáles fueron las causas inmediatas de este accidente; tampoco se sabe cuáles fueron las recomendaciones finales de la investigación de dicho accidente.

{2} Accidente de radioterapia de Epinal, Francia, 2004. (Guillaume, 2007).

En mayo del 2004 ocurrió un accidente de la unidad de radioterapia en el centro hospitalario Jean Monnet en Epinal, Francia. El protocolo de radioterapia de conformación aplicada a los tumores de próstata había sido modificado, para servirse más ampliamente de las posibilidades del software de dosimetría sobre el terreno desde el año 2000. Se pasa así de la utilización de las escalas estáticas a las escalas dinámicas (estas "escalas" estáticas o dinámicas tienen por finalidad la dosis de rayos recibida por los órganos próximos a la próstata (recto, vejiga), muy sensible a la irradiación). Este cambio de escalas supone también modificar los parámetros que aseguran el cálculo de intensidad de la irradiación, lo que no se haría con algunos enfermos. En esta fase, el error se hubiera podido corregir si se hubiera mantenido el cálculo independientemente del número de unidades monitoras (UM) y de la dosimetría in vivo, que permiten verificar la dosis real recibida por el enfermo. Desgraciadamente estas líneas de defensa han desaparecido, la utilización de escalas dinámicas les hacen inoperantes en estas condiciones. El periodo durante el que tuvo lugar la sobredosificación de los 23 enfermos, se sitúa entre el 6 de mayo del 2004 y el 1 de agosto del 2005. A partir de esta fecha, un nuevo software de dosimetría sustituye definitivamente al antiguo, cuya ergonomía no permitía evitar este tipo de error.

Para los enfermos, el periodo de irradiación (que dura entre 5 y 8 semanas) transcurre de la forma acostumbrada, pero los primeros síntomas de sobreirradiación aparecen, entre los primeros casos, a partir de enero del 2005. Los pacientes consultan a su médico de cabecera que les envía a un gastro-enterólogo. La endoscopia revela la existencia de una rectitis rádica que va agravándose. A partir de mayo del 2005 cinco enfermos son portadores de lesiones graves; en junio del 2005, son siete, y en agosto del 2005 llegan a diez. En el verano del 2005, uno de los médicos radioterapeutas y el radiólogo descubren el error de sobredosificación, al volver a examinar todos los historiales. El 15 de septiembre del 2005, los dos médicos del servicio dan parte del accidente a la dirección del Hospital, que a su vez informa a la Dirección Departamental de Asuntos Sanitarios y Sociales (DDASS).

La situación hasta febrero del 2007 de las 23 víctimas y sus familias

Entre septiembre del 2005 y septiembre del 2006, murieron cuatro pacientes. Diez enfermos al menos presentan una complicación rádica severa, con síntomas del tipo de dolores intensos, derrames, hemorragias que necesitan repetidas transfusiones, fistulas generalizadas, dificultad o imposibilidad de sentarse, desplazarse, dormir. Estos

pacientes sufren una alteración de su estado general, depresión, y a veces adelgazan. Son portadores de colostomía y ureterostomía y necesitan llevar bolsas permanentemente, sondas y catéteres. Nueve enfermos tienen ataques moderados y pueden llevar una vida si no normal, al menos compatible con una cierta actividad. Ningún enfermo estaba indemne.

Otros enfermos portadores de complicaciones rdicas

Se ha descubierto también una lista de otras 44 personas afectadas de rectitis rádica después de una radioterapia conformacional de la próstata, anadiendo a la lista 23 enfermos sobredosificados.

{3} Error Hospitalario infectó de SIDA o Hepatitis a 500 personas, Holanda, 2007. (Ferrer, 2007)

De acuerdo al reporte presentado por Ferrer, se cree que unos 500 pacientes holandeses han podido contraer el SIDA, además de la hepatitis B o C, por culpa de un error hospitalario. Todos los afectados, que han empezado a ser llamados por el centro médico Bernhoven, fueron sometidos a endoscopias de estómago, intestinos y pulmones en el mes de julio del 2007. Se cree que el accidente fue debido a un fallo en el sistema de esterilización, los endoscopios no se limpiaron bien después de cada uso. Según fuentes del hospital, la culpa deberá atribuirse al distribuidor de cuatro nuevas máquinas limpiadoras porque las mismas presentaban "unos tubos sueltos". Dichas piezas eran las utilizadas para examinar a los enfermos internamente. Aunque el riesgo de contagio es "mínimo", siempre en palabras del hospital, la sangre de los 500 pacientes deberá ser analizada en el plazo de una semana. Los pacientes que den negativo deberán someterse a una prueba posteriormente, ya que es posible que los virus tarden en dar señales.

{4} Varios accidentes en los hospitales de Italia, 2007. (Kington, 2007).

- Según el reporte, se cree que ocho personas han perdido la vida a causa de un error de conexión de las tuberías que suministran el oxígeno y el gas anestésico Ancona en la unidad intensiva de cardiología de un hospital en Castellaneta, provincia de Taranto, Italia. Una persona de 73 años murió al respirar dosis del gas anestésico en vez de oxígeno. Se sospecha que otras siete personas han muerto por la misma causa. Los doctores del Hospital han aceptado el hecho de que las tuberías que suministran el oxígeno y el gas anestésico a la unidad habían sido intercambiadas debido a un error en la instalación. (Cabe mencionar que el accidente ocurrió 17 días después de que el Hospital abrió sus servicios)
- Por otro lado, en enero de 2007 una joven de 16 años murió en un Hospital debido a un corte en el suministro de energía eléctrica cuando la paciente se sometía a una operación para remover su apéndice.
- Finalmente, en febrero de 2007, tres pacientes de un Hospital en Florencia (Italia) recibieron transplantes de órganos donados por una persona con HIV-positivo y esto fue debido a un error de etiquetado.

{5} Accidente en un Hospital, Inglaterra, 2007. (Tozer & Hope, 2007).

Dieciocho pacientes no fueron diagnosticados correctamente por un oncólogo en un Hospital en Inglaterra. Una mujer murió y dos más probablemente no sobrevivan debido a la negligencia e incompetencia del oncólogo. Se cree que el mal diagnóstico del oncólogo significaba que dichas pacientes podían esperar hasta dos años antes de su operación. Otros pacientes se operaron innecesariamente por el error del mismo médico. De acuerdo al reporte de la investigación del caso, se encontró que las radiografías de las glándulas mamarias no se interpretaban correctamente por el oncólogo así como tampoco los resultados de las exploraciones y biopsias.

Aunque los compañeros de trabajo del doctor estaban preocupados por la manera en que trabajaba dicho médico, nunca se hizo nada para corregir el problema. Claramente el sistema de gestión de seguridad del Hospital tenía deficiencias en cuanto a la competencia de su personal.

{6} Accidente de un equipo de rayos X – Caso de equipo dañado o defectuoso (IRID, 2007).

Un nuevo tubo de rayos X se instaló en un equipo de cristalografía por un ingeniero de servicio y se sometió al procedimiento de acondicionamiento que consistió en aumento lento de la corriente y el voltaje en un lapso de 1 hora. El operador observó que el equipo electrónico de monitoreo asociado con el cristalógrafo no respondía como se esperaba y marcaba fallas en el equipo. Así como fue establecido en las reglas locales, el operador reportó esta aparente falla en el funcionamiento al Supervisor de la Protección Radiológica y se llevó a cabo una inspección radiológica del equipo. La inspección reveló una sobredosis de hasta $240 \mu\text{Sv h}^{-1}$ alrededor del portador del tubo, y la unidad inmediatamente fue desconectada de la fuente de energía eléctrica. En la investigación posterior que se llevó a cabo por los ingenieros-expertos se encontró que el tubo de rayos X diseñado recientemente se instaló de forma incorrecta en el portador de tubos antiguos faltando los adaptadores necesarios de protección. Como consecuencia el equipo emitía un haz de rayos X horizontal desde el hueco en la protección. El ingeniero del servicio que realizó la instalación no implementó la inspección radiológica del equipo después de haber reemplazado el tubo. Las dosis en las extremidades del operador y del Supervisor de la Protección Radiológica se estimaron como $15 \mu\text{Sv}$ y $40 \mu\text{Sv}$, respectivamente; los dosímetros de todo el cuerpo que ellos llevaban puestos mostraron que no hubo la exposición al haz de radiación como tal.

{7} Equipo de diagnóstico de rayos X – Caso de exposición a radiación externa (IRID, 2007).

Después de la primera de las dos radiografías necesarias de un paciente, el dentista trató de reubicar el cabezal del tubo de rayos X para llevar a cabo la segunda radiografía y en este momento notó que el cabezal del tubo estaba tibio y hacía ruido, y a la vez vio la luz roja iluminada que indicaba “rayos X encendidos” lo que lo informaba que los rayos X todavía seguían emitiéndose. La emisión de rayos X en un equipo que se emplea para la toma de las radiografías dentales tiene que cesar después de un tiempo preestablecido de exposición, habitualmente en unas décimas de un segundo. El dentista inmediatamente desconectó el equipo de rayos X de la fuente principal de alimentación, y después pidió el consejo de un especialista en protección radiológica. Se estimó que la exposición

a los rayos X se prolongó de hasta unos 10 segundos, sin embargo, el haz de radiación no estuvo apuntando en la misma dirección en todo el tiempo desde que el dentista reubicó el cabezal del tubo.

Se sabe que el dentista solicitó que un ingeniero de servicio inspeccionará el equipo de rayos X y algunos de los componentes eléctricos fueron reemplazados, sin embargo, no se cuenta con más detalles como, por ejemplo, el porqué se prolongó la emisión de rayos X después del tiempo preestablecido.

1.3 Necesidad de un Sistema de Gestión de Seguridad Radiológica

Lo anterior resalta la necesidad de mejorar radicalmente el desempeño de los Hospitales en cuanto a seguridad radiológica. Tradicionalmente los enfoques a la seguridad han señalado las fallas en el desempeño que se presentaban inmediatamente antes de un accidente (Parrow, 1984; Reason, 1990, 1997). Este tipo de fallas se conocen como *fallas activas* y pueden ser consideradas como errores humanos o violaciones que tienen el impacto inmediato en la integridad del sistema (Reason, 1990, 1997). Los investigadores han encontrado que el factor humano es uno de los factores clave que contribuyen en la ocurrencia de los accidentes mayores (Andreas, 1999; Anjana, 1997). Sin embargo, en los últimos años la comprensión de la naturaleza e importancia de los errores organizacionales causó que estos últimos también se consideraran en el intento de reducción de la frecuencia de los accidentes mayores (Reason, 1990, 1997). Los errores organizacionales son conocidos como *fallas latentes*. Estas fallas frecuentemente son las cometidas en el diseño, la administración y la comunicación y también pueden ser las deficiencias en la estructura de la organización (Reason, 1990, 1997; Fortune, 1995; NRC, 1994). Resulta claro que estudiar y tratar las fallas organizacionales es tan importante como enfocarse a las causas humanas o técnicas de los accidentes.

El presente trabajo de tesis intenta desarrollar un Sistema de Gestión de Seguridad Radiológica (SGSR) con aplicación a Hospitales. El modelo tiene como objetivo fundamental la **prevención** de incidentes y accidentes radiológicos en Hospitales.

1.4 Conclusiones del capítulo

En este capítulo se presentaron los antecedentes y la justificación de la necesidad del desarrollo de un Sistema de Gestión de Seguridad Radiológica (SGSR) con aplicación a Hospitales. En principio, el SGSR es genérico en el sentido de que puede ser aplicado en cualquiera de las aplicaciones de las radiaciones en Hospitales.

CAPÍTULO 2

Marco Teórico

En resumen, este capítulo contiene una descripción muy breve de los conceptos teóricos necesarios para el desarrollo de la tesis. En particular, la física de la radiación se describe en la sección 2.1. La sección 2.2 trata del origen, los riesgos así como los efectos biológicos de la radiación. A continuación, la sección 2.3 presenta dos conceptos fundamentales para el desarrollo de la tesis: *prevención y protección*; además se describen principios fundamentales de protección radiológica. La normatividad vigente nacional e internacional se expone brevemente en la sección 2.4. La sección 2.5 contiene una descripción de los modelos de gestión de seguridad existentes y finalmente la sección 2.6 presenta las conclusiones del capítulo.

2.1 Física de la Radiación

En 1895 Röntgen descubre los rayos X, radiaciones que presentan una serie de propiedades desconocidas hasta ese momento. Posteriormente Henri Becquerel en 1896, interesado en el descubrimiento de Röntgen, intenta averiguar si algunos materiales expuestos a la radiación solar son capaces de emitir rayos X. En el día del experimento la ausencia de sol hace que Becquerel guarde el mineral a ensayar en un cajón junto con unas placas fotográficas debidamente protegidas. Al día siguiente, las placas fotográficas estaban reveladas como si hubiesen estado expuestas a radiación similar a los rayos X. Dicha radiación parecía obvio predecir que provenía del mineral. Se trataba de un mineral de uranio. Este descubrimiento casual hace que se busquen nuevas sustancias capaces de emitir radiaciones como las descubiertas por Becquerel. Así el matrimonio Curie descubrió el polonio y el radio en el año 1898. El descubrimiento de estas radiaciones, de la radiactividad, marca el nacimiento de la energía atómica. La evolución de la energía atómica es impulsada por los sucesivos descubrimientos entre los que cabría destacar: La teoría de la relatividad de Albert Einstein (1905); El modelo atómico de Ernest Rutherford (1911); La radiactividad artificial por los esposos Joliot-Curie (1934); Fisión nuclear por Otto Hahn (1939); y Primera reacción en cadena controlada por Enrico Fermi (1942), entre otros.

2.1.1 Estructura de la materia

El átomo consta de un núcleo con carga positiva y un cierto número de partículas cargadas negativamente, los electrones, que forman la corteza. De esta manera el núcleo marca las propiedades físicas del átomo y la corteza las propiedades químicas. Los núcleos atómicos están a su vez constituidos por protones y neutrones, que genéricamente se llaman nucleones. Los protones poseen una carga eléctrica positiva, de igual magnitud que la carga de los electrones. A los protones se les identifica con el núcleo del hidrógeno. Los neutrones son algo más pesados que los protones y, como su propio nombre indica, se trata de partículas eléctricamente neutras, sin carga. A excepción del hidrógeno ordinario, todos los núcleos contienen además de protones, uno o más neutrones.

Para un elemento químico determinado el número de protones existentes en el núcleo, que es igual al número de cargas positivas que posee, recibe el nombre de número atómico del elemento (Z) y es el número de orden que dicho elemento ocupa en la tabla periódica.

El número atómico es el carácter diferenciador (“la identificación”) de los distintos elementos químicos. El número total de nucleones (protones y neutrones) existentes en el núcleo recibe el nombre de número másico (A). La diferencia entre el número másico y el número atómico, $A-Z$, nos da el número de neutrones contenidos en el núcleo atómico.

2.1.2 Isótopos

El número de protones determina la naturaleza química de un elemento, y es igual al número de electrones en un átomo eléctricamente neutro. El número atómico Z , es el número de protones existentes en el núcleo. Así pues átomos con igual número atómico, aunque difieran en número másico son, desde el punto de vista químico, idénticos pero presentan con frecuencia marcadas diferencias en sus características nucleares. Tales especies con idéntico número atómico y diferente número másico, reciben el nombre de isótopos, es decir, átomos con idénticas propiedades químicas pero con distinto índice de masa. Las especies isotópicas son, en general, químicamente indistinguibles, pero poseen una masa atómica diferente.

Por ejemplo, el elemento químico hidrógeno (H), tiene un protón en su núcleo y un electrón en su corteza. Sin embargo, en algún caso, el mismo elemento químico H , tiene un núcleo compuesto de protón más un neutrón y una corteza con un electrón, en este caso lo conocemos como deuterio (D). También existe otro isótopo del hidrógeno constituido por un núcleo compuesto por un protón más dos neutrones y una corteza compuesta por un electrón, en este caso lo conocemos como Tritio (T), siendo un isótopo con el núcleo inestable, por lo que tiende a transformarse de forma espontánea (Ver Fig. 2.1).

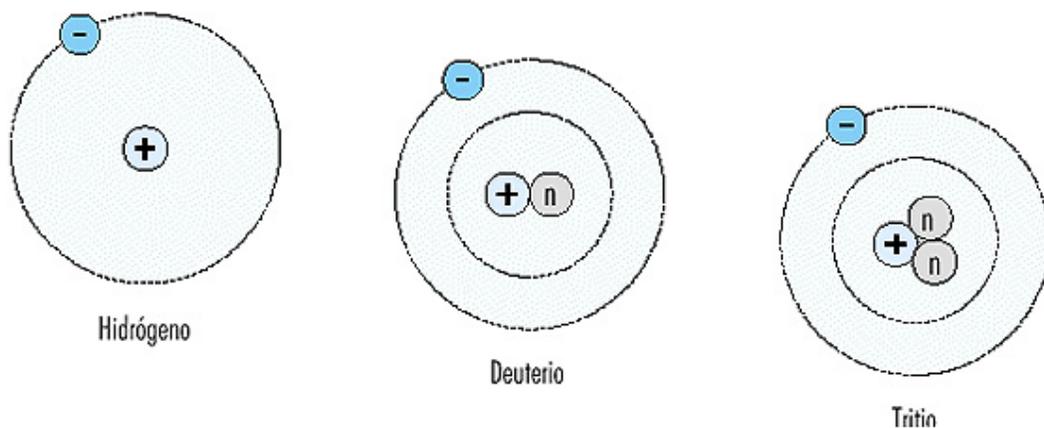


Figura 2.1 Isótopos de hidrógeno.

2.1.3 Núcleos que se transforman, radioactividad y concepto de actividad

Los núcleos que son inestables, se transforman de forma espontánea, recibiendo la denominación de *núcleos radiactivos*, o *radionucleidos*. En una muestra con un único tipo de núcleos radiactivos, todos sus radionucleidos presentan la misma probabilidad de sufrir una transformación por unidad de tiempo. La actividad de la muestra, se refiere al número de radionucleidos que se transforman por unidad de tiempo. Con el tiempo, en la muestra disminuye el número de núcleos radiactivos pendientes de sufrir una transformación. Esta disminución viene también acompañada por la correspondiente disminución en el número de núcleos que se transforman por unidad de tiempo, tratándose pues de una disminución de la actividad. La transformación de un radionucleido suele venir acompañada por la emisión de una partícula o radiación electromagnética, siendo característica del radionucleido, resultando al final un núcleo diferente, que también puede ser, o no, inestable (radiactivo). Tal como ya se ha indicado, en una muestra, a medida que se van transformado los radionucleidos, va disminuyendo la actividad de la muestra, llegando un momento en que tanto el número de radionucleidos pendientes de transformarse, como la actividad de la muestra, se han reducido a la mitad. A este período de tiempo se le llama período de semidesintegración, o tiempo de vida media, ($T_{1/2}$) y es característico de cada radionucleido. Los períodos de semidesintegración para las distintas sustancias radiactivas varían desde la millonésima de segundo hasta millones de años.

2.1.4 Tipos de radiación e interacción de la radiación con la materia

Como se ha mencionado anteriormente, en el proceso de transformación, el núcleo inestable emite radiación, la cual puede ser de naturaleza corpuscular o bien de naturaleza electromagnética. La radiación de naturaleza corpuscular está formada por partículas con masa, emergiendo del núcleo con una importante velocidad. En la mayoría de los casos, estas partículas tienen carga eléctrica. Según el tipo de inestabilidad del nucleido, esta emisión puede ser de diferentes tipos: radiación alfa, radiación beta y radiación gamma (Ver Fig. 2.2).

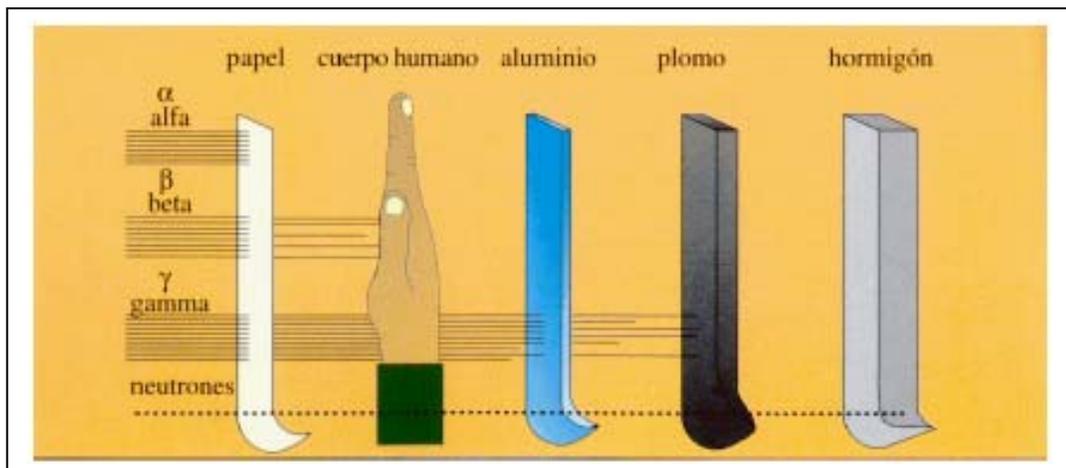


Figura 2.2 Capacidad de penetración en la materia de los distintos tipos de radiación.

Radiación alfa

Este tipo de radiaciones, de carácter corpuscular, se produce al desprenderse del núcleo una partícula alfa (dos protones y dos neutrones). Estas partículas alfa cargadas positivamente son idénticas a los núcleos de helio. Dado que las partículas alfa son muy másicas, su capacidad de penetración en la materia es muy baja (Ver Fig. 2.2), presentando una elevada pérdida de energía por unidad de longitud recorrida. Asimismo, su carga eléctrica comporta que en su interacción con otros átomos se desprenda gran número de electrones orbitales, con lo que producen una elevada densidad de ionizaciones. Su efecto biológico y peligrosidad asociada a la contaminación interna es alta.

Radiación beta

Radiación de naturaleza corpuscular, es importante diferenciar entre la radiación beta negativa y la radiación beta positiva. La radiación beta negativa se produce cuando el radionucleido emite un electrón tras convertirse un neutrón en un protón. Por tanto en una transformación con emisión beta negativa, el núcleo resultante tiene un neutrón menos y un protón más que su progenitor, quedando pues inalterado su número másico. En cambio la emisión beta positiva consiste en la emisión de un positrón, siendo la antipartícula del electrón, teniendo carga eléctrica positiva. En la emisión beta positiva, el núcleo resultante tiene un neutrón más y un protón menos que su progenitor, por lo que también queda inalterado el número másico. Una propiedad específica de la emisión beta positiva, es que va seguida de la aniquilación del positrón, el cual acaba combinándose con un electrón y la masa de ambos se transforma en energía, con la correspondiente emisión de dos fotones.

La densidad de ionización producida por la radiación beta es menor que la producida por la radiación alfa, dado que la primera suele presentar una mayor velocidad y en consecuencia un menor "tiempo de interacción". Por contra, el alcance (penetración en un medio material) de la partícula beta suele ser superior al de las partículas alfa (Ver Fig. 2.2).

Radiación gamma

Es una radiación de naturaleza electromagnética, es decir, de idéntica naturaleza que la luz visible, la ultravioleta, o los rayos X. Por tanto no posee ni carga ni masa. Los núcleos excitados, de forma espontánea tienden a pasar a estados de menor excitación. La energía excedente procedente de este cambio de estado del núcleo se suele emitir en forma de fotones, constituyendo la denominada radiación gamma. La radiación gamma, a diferencia de la radiación alfa y de la radiación beta, produce ionización indirecta. El propio fotón, al interactuar con el medio material libera unos pocos electrones, dotados de elevada velocidad, constituyendo las denominadas interacciones primarias. Seguidamente, cada uno de estos electrones producen, en el material con que interactúan, una notable cantidad de nuevas ionizaciones, constituyendo la denominada ionización indirecta. El poder de penetración de radiaciones gamma es grande. La Fig. 2.2 da una idea de la capacidad de penetración de las partículas gamma.

2.1.5 Magnitudes y unidades

Los seres vivos, al resultar expuestos a las radiaciones ionizantes sufren una serie de efectos biológicos (Ver la sección 2.2.3 de este capítulo). Al incidir radiación sobre un tejido biológico, parte de su energía resulta absorbida. La magnitud de la dosis es precisamente esta energía absorbida por unidad de masa de tejido. Se trata de una magnitud con una buena correlación con la cuantificación del daño biológico. No obstante, a igualdad de dosis, la probabilidad de daño inducido por la radiación, también presenta una dependencia con el tipo de radiación, dando lugar a la denominada *dosis equivalente*, siendo la dosis multiplicada por un factor de ponderación que depende del tipo de radiación (w_R). El valor del factor de ponderación está definido de modo que a igualdad de dosis equivalente, se presente la misma probabilidad de daño, independientemente del tipo de radiación. En general, en las mediciones tanto del material radiactivo como de las radiaciones ionizantes, es usual el recurrir a las siguientes magnitudes y unidades:

- {a} *Actividad de un radionucleido*, que se define en un instante determinado y desde un estado de energía definido, como el número de núcleos que se transforman por unidad de tiempo. Su unidad de medida en el sistema internacional es el becquerel (Bq). Históricamente también se ha utilizado el curio (Ci) ($1 \text{ Ci} = 37 \text{ GBq}$).
- {b} *Dosis absorbida*, que es la cantidad de energía absorbida por unidad de masa de material irradiado y su unidad de medida es el Gray (Gy) o Rad (rad). ($1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad} = 1 \text{ J/kg}$)
- {c} *Exposición*, que se emplea para medir la capacidad de la radiación para producir iones en el aire. Su unidad de medida es Coulombs /kg (C/kg). Históricamente también se ha utilizado el Röntgen (R).
 $1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ Coulombs/kg de aire en CSPT (condiciones estándar de presión y temperatura)}$
- {d} *Dosis equivalente*, que, tal como ya se ha adelantado, se correlaciona con la probabilidad de daño por parte de los diferentes tipos de radiación. Adicionalmente se dispone de la magnitud dosis efectiva, que además de tener presente el tipo de radiación, también tiene presente el grado de radiosensibilidad del órgano irradiado. En ambos casos, la unidad de medida en el sistema internacional es el sievert (Sv). Históricamente se ha utilizado el rem (equivalencia: $1 \text{ rem} = 10 \text{ mSv}$).

Para más detalles acerca de las unidades radiológicas y equivalencias, ver Anexo A.

2.2 Origen, riesgos y efectos biológicos de la radiación

2.2.1 Radiación natural

El hombre ha estado siempre expuesto a fuentes naturales de radiaciones ionizantes: rayos cósmicos; materiales radiactivos que se hallan en la corteza terrestre, muchos de los cuales están incorporados a materiales de construcción, al aire y a los alimentos, e incluso sustancias radiactivas que se encuentran en el interior del organismo humano (potasio 40 (^{40}K), carbono 14 (^{14}C), entre otros). El Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR) estima regularmente las dosis debidas a las fuentes naturales, y da un valor mundial medio de 2.4 mSV para un habitante adulto (UNSCEAR, 2000). La dosis debida a fuentes naturales es variable y depende de diversos factores como:

- La altura sobre el nivel del mar, ya que la radiación es retenida en parte por la atmósfera. Por ejemplo, la gente que vive en las grandes alturas recibe dosis mucho más elevadas de radiación externa y en algunos casos puede ser de hasta un 50% superior a la media.
- El contenido de material radiactivo en el suelo o materiales de construcción utilizados. Existen zonas, por ejemplo graníticas, cuyo contenido en material radiactivo es elevado y por tanto contribuyen a una mayor dosis en la población residente en ella.
- La evolución tecnológica modifica la exposición del hombre a las radiaciones. Por ejemplo, en la combustión del carbón se liberan a la atmósfera trazas de material radiactivo natural, el uso de fertilizantes fosfatados aumenta la irradiación debido a los radionucleidos naturales que contienen, entre otros.

2.2.2 Radiación artificial

Además de la radiación natural, el hombre está expuesto a fuentes de radiaciones generadas de modo artificial: exposición a los rayos X con fines diagnósticos, aplicaciones de radionucleidos en medicina, industria e investigación, producción de energía eléctrica, ensayos nucleares realizados en la atmósfera y todos los materiales residuales que estas actividades comportan. Estas fuentes de radiación provocan un aumento en la dosis a la que está sometida la población. Las evaluaciones del UNSCEAR (UNSCEAR, 2000) sobre las dosis individuales “per cápita” en la actualidad muestran que la mayor proporción la representan la utilización de los rayos X en el diagnóstico médico.

En la Tabla 2.1 se indican los valores medios de la dosis efectiva anual, diferenciando 4 niveles de implantación de la sanidad: en el caso de países considerados desarrollados desde el punto de vista sanitario, se consideran del nivel I, contando con más de un médico por cada 1000 habitantes; mientras que en el otro extremo se encontrarían los países subdesarrollados desde el punto de vista sanitario, contando con menos de 1 médico por cada 10,000 habitantes.

Tabla 2.1 Exposición a la radiación en calidad de paciente en radiodiagnóstico

Nivel de sanidad	Habitantes por médico	Cantidad anual de exploraciones por cada 1000 habitantes	Valor medio de la dosis efectiva anual de la población (mSv)
I	< 1000	920	1.2
II	1000 – 3000	150	0.14
III	3000 – 10000	20	0.02
IV	> 10000	< 20	< 0.02
Media mundial		330	0.40

Con fines diagnósticos también se puede administrar material radiactivo al paciente, seguido de la posterior detección de la distribución corporal de dicho material. Se trata de aplicaciones in vivo propias de la especialidad de medicina nuclear. Para este caso, el número de exploraciones por cada 1000 habitantes es aproximadamente la centésima parte de la indicada para el radiodiagnóstico. En cuanto a la dosis media por habitante también es del orden de la centésima parte de la indicada en radiodiagnóstico, por lo que no influye de forma significativa a la dosis efectiva media debida al diagnóstico (UNSCEAR, 2000).

2.2.3 Efectos biológicos de la radiación

Los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes sobre los seres vivos han sido conocidos y estudiados con detalle desde hace muchos años. Fueron observados por primera vez en 1896 en algunos de los primeros usuarios de los rayos X. Estos notaron una caída del cabello en aquellas áreas que habían sido expuestas, la piel se volvió roja, y si recibía grandes cantidades de radiación se ulceraba. Además encontraron que a menudo se desarrollaba, años más tarde, cáncer de piel sobre las áreas que habían sido expuestas.

2.2.3.1 Mecanismos de acción biológica de la radiación ionizante

Para comprender el efecto biológico de las radiaciones ionizantes, se han invocado dos teorías que lejos de ser contradictorias, se complementan perfectamente.

I. Teoría de Acción Directa, o Teoría del Blanco

Esta teoría vincula el efecto biológico y la importancia del mismo con la responsabilidad biológica del blanco (diana) alcanzado y del número de dianas impactadas. Si tenemos en cuenta que en cualquier modelo biológico y, más concretamente, en las células humanas la posibilidad de reproducción de las mismas y el adecuado cumplimiento del código genético está vinculado al genoma, es decir, a los cromosomas del núcleo celular, o lo que es lo mismo a la integridad del ácido desoxirribonucleico (ADN), el daño celular será proporcional a la lesión inducida en el ADN.

Si esta lesión es irreversible y por tanto no reparable, la consecuencia será la muerte reproductiva de la célula alcanzada. Si por el contrario la lesión radioinducida es reparada, tendremos un ADN capacitado para ir hacia mitosis sucesivas, pero con la posibilidad de transmitir alteraciones en la línea genética, mutaciones sumadas a las propias de la generación en la que le corresponda actuar como gen dominante.

Esta teoría explica el efecto biológico que se produce en el momento y en el lugar de la cesión de energía con capacidad ionizante y los efectos tanto **somáticos** como **genéticos**.

II. Teoría de Acción Indirecta o Teoría de los Radicales Libres.

Esta teoría se complementa con la anterior, puesto que explica la serie de fenómenos biológicos que se producen incluso fuera del momento y del lugar del depósito de energía ionizante.

Es bien conocido el componente de volumen de agua en las células del ser humano normalmente hidratado, estimado en un 70%. El efecto de la ionización en las moléculas de agua es lo que se conoce como “radiólisis del agua”. Se produce una ruptura de la molécula con la liberación de los radicales que la componen, H^{\bullet} y $^{\bullet}OH$. Estos radicales adquieren una rápida tendencia a recombinarse pudiendo dar lugar a la formación de nuevas moléculas de agua o, lo que es más frecuente, a agua oxigenada (H_2O_2) que presenta una elevada toxicidad para el medio biológico en donde se forma. Se consigue por tanto intoxicar el medio biológico, intra y extracelular, lo que complica la vida del mismo.

2.2.3.2 Clasificación de los efectos producidos por la radiación ionizante.

Son muchas las posibles clasificaciones que se podrían realizar sobre los efectos de las radiaciones ionizantes. Sin embargo, nos vamos a referir aquí a aquella que más frecuentemente se utiliza en protección radiológica y que hace referencia a la transmisión celular de los efectos y a su relación con la dosis.

En primer lugar, los efectos pueden clasificarse en:

{a} **Somáticos y genéticos**, en función de si son inducidos sobre las células de la línea somática o germinal. El daño somático se manifiesta durante la vida del individuo irradiado, mientras que los efectos genéticos son inducidos sobre su descendencia. Los efectos somáticos se dividen a su vez en inmediatos y tardíos, en función del tiempo transcurrido desde su irradiación.

{b} A su vez y en función de la incidencia que tiene la radiación sobre los efectos, éstos se clasifican en **deterministas** y en **estocásticos**.

La ICRP (publicación 60, 1990) define los efectos *estocásticos* como aquéllos para los cuales la probabilidad de que un efecto ocurra, más que su severidad, es función de la dosis, sin umbral. Los efectos *deterministas* son aquéllos para los cuales la severidad del efecto varía con la dosis, siendo necesario un valor umbral.

Los efectos estocásticos se pueden presentar tanto en el individuo expuesto (efectos estocásticos somáticos, como sería en caso de la carcinogénesis), como también en la descendencia (efectos estocásticos hereditarios).

Al igual que en la irradiación de células no germinales, las células germinales irradiadas pueden experimentar efectos deterministas (esterilidad); efectos que evidentemente no son hereditarios y por lo tanto no hemos de identificar los efectos producidos por la irradiación de las gónadas con los efectos genéticos.

Los efectos somáticos inmediatos aparecen en la persona irradiada en un margen de tiempo que va desde unos días hasta unas pocas semanas después de la exposición. Se trata de efectos deterministas y se pueden manifestar en un tejido concreto o sobre el cuerpo considerado como un todo, bajo un síndrome de denominación específica (por ejemplo, síndrome hematológico, gastrointestinal, etc.), y su severidad varía considerablemente con la dosis, tipo de energía de la radiación, así como la parte del cuerpo irradiada. Para estos efectos somáticos inmediatos, se supone que existe en cierta medida, un proceso de recuperación celular como, por ejemplo, en el caso de la fibrosis pulmonar debida a una dosis excesiva de radiación o los eritemas de la piel.

Los efectos somáticos *tardíos* son aquéllos que ocurren al azar dentro de una población de individuos irradiados. Son, por tanto, estocásticos, no siendo posible en ningún caso, establecer para ellos una relación dosis-efecto individual. La relación entre la inducción de una malignidad (leucemia, tumor, etc.) y la dosis, sólo podemos establecerla sobre grandes grupos de población irradiada, como un incremento en la probabilidad de que ocurra una enfermedad determinada por encima de su incidencia natural. Decimos que son *tardíos* cuando el efecto se manifiesta entre 10 y 40 años después de la exposición. Por ejemplo, es frecuente encontrar períodos de latencia de 20-26 años para cánceres inducidos por radiación y de 10-15 años en el caso de leucemias.

Los efectos genéticos afectan a la descendencia. Pueden aparecer en la primera generación, en cuyo caso el daño se dice que es dominante. Más frecuentemente el efecto se manifiesta en individuos de las generaciones sucesivas (enfermedades hereditarias, defectos mentales, anormalidades del esqueleto, etc.). Son efectos estocásticos, puesto que dependen de la probabilidad de que una célula germinal con una mutación relevante, tome parte en la reproducción.

2.2.3.3 Respuesta sistémica a la radiación

I. Efectos deterministas

Al hablar de la *respuesta sistémica* a la radiación nos referimos a la respuesta de un sistema que dependerá de la respuesta de los órganos que lo constituya, de la de sus tejidos, así como de la respuesta de las poblaciones celulares de estos tejidos.

El orden de magnitud que se suele emplear al referirse a las diferentes dosis, suponiendo que estas dosis se reciban en un sólo órgano, es:

dosis baja : hasta 1 Gy

dosis media : entre 1 Gy y 10 Gy

dosis alta : superior a 10 Gy

Los límites de dosis para personal profesionalmente expuesto y público en general están por debajo de estos órdenes de magnitud, con lo que se garantiza que no se presentarán efectos de tipo determinista.

Radiosensibilidad de los tejidos.

La respuesta de un tejido u órgano a una dosis de radiación depende primariamente de dos factores:

- la sensibilidad inherente de las células, consideradas individualmente, y
- la cinética de la población, considerando al conjunto de sus células.

Desde 1906, es decir, sólo diez años después de los primeros datos respecto a fuentes de radiación rayos X y elementos radiactivos naturales, dos autores franceses, Bergonie y Tribondeau, emitieron sus enunciados respecto a las diferente radiosensibilidad de las células y tejidos vivos. De manera prácticamente exclusiva vinculan la rápida e intensa respuesta de los tejidos a la capacidad reproductora de las células que los componen, es decir, de forma directamente proporcional al índice de mitosis. Por otra parte ya era sabida la individualización, no sólo de cada tejido respecto a las mitosis presentes en el mismo (índice mitótico), sino también la situación individual de cada célula en el seno del tejido en diferente momento de su vida (asincronía celular). El efecto biológico dependerá por tanto, no sólo del elevado número de mitosis, sino también del momento de su ciclo vital en que se encuentre cada célula. En el caso del ser humano podríamos poner dos ejemplos ilustrativos; uno en cada extremo, es decir, máxima frente a mínima radiosensibilidad. El tejido cuya reproducción es necesariamente elevada es aquel donde se encuentran los precursores de las células de la sangre. Es el tejido hematopoyético, presente en la médula ósea, considerado como el más radiosensible y el más crítico frente a la radiación. En el otro extremo, baja radiosensibilidad, se encuentra el tejido humano más especializado, con bajísima capacidad reproductiva y con predominio de células adultas, maduras, es el tejido nervioso.

Hay otros factores que también influyen en la radiosensibilidad de los tejidos, unos dependientes de la propia radiación, como es la densidad de ionizaciones que deja en su trayectoria (transferencia lineal de energía), y otros

dependientes de la distribución de la dosis en el tiempo. Desde el punto de vista biológico se ha demostrado también que la presencia de oxígeno aumenta la radiosensibilidad.

Descripción de las alteraciones sistémicas

Sistema hematopoyético

Como consecuencia de la elevada radiosensibilidad de los precursores hematopoyéticos, dosis moderadas de radiaciones ionizantes pueden provocar una disminución proliferativa de las células, lo que se traduce al cabo de un corto período de tiempo en un descenso del número de células funcionales de la sangre. La pérdida de leucocitos conduce, tras la irradiación, a una disminución o falta de resistencia ante los procesos infecciosos. Por otra parte, la disminución del número de plaquetas indispensables para la coagulación sanguínea provoca una marcada tendencia a las hemorragias, que sumado a la falta de producción de nuevos elementos sanguíneos de la serie roja, puede provocar una grave anemia.

Sistema digestivo

El intestino delgado es la parte más radiosensible del tubo digestivo. Está constituido por un revestimiento formado por células que no se dividen, sino que se desescaman diariamente hacia la luz del tubo y son sustituidas por nuevas células. Al igual que ocurre en la médula ósea, en esta región existe un compartimiento de células cepa, que se dividen activamente, y que tienen una elevada sensibilidad.

La radiación puede llegar a inhibir la proliferación celular y, por tanto, el revestimiento puede quedar altamente lesionado, teniendo lugar una disminución o supresión de secreciones, pérdida de elevadas cantidades de líquidos y electrólitos.

Piel

Después de aplicar dosis de radiaciones moderadas o altas, se producen reacciones tales como inflamación, eritema y descamación seca o húmeda de la piel.

Testículo

Como consecuencia de la irradiación de los testículos se puede producir la despoblación de las espermatogonias, lo que se traduce en la disminución de nuevos espermatozoides, aunque la fertilidad puede mantenerse durante un período variable atribuible a los radiorresistentes espermatozoides maduros. A este período le sigue, finalmente, otro de esterilidad temporal o permanente según la dosis recibida.

Ovario

Después de irradiar los ovarios con dosis moderadas, existe un período de fertilidad debido a los relativamente radiorresistentes folículos maduros, que pueden liberar un óvulo. A este período fértil le puede seguir otro de

esterilidad temporal o permanente, como consecuencia de las lesiones en los folículos intermedios al impedirse la maduración y expulsión del óvulo. Posteriormente, puede existir un nuevo período de fertilidad como consecuencia de la maduración de los óvulos, que se encuentran en los folículos pequeños y radiorresistentes.

Las dosis necesarias para producir esterilización varían en función de la edad, dado que a medida que se aproxima la edad de la menopausia el número de ovocitos primarios disminuye y, por tanto, la dosis esterilizante es más baja.

II. Efectos estocásticos

La mayor parte de los efectos tardíos se producen como consecuencia de la alteración del material genético de aquellas células que sobreviven a la radiación, exceptuando las distintas etapas de afectación de órganos, tales como fibrosis o ulceraciones, que se pueden presentar tardíamente y que son efectos no estocásticos.

Para este tipo de efectos no puede hablarse de una dosis umbral, dado que bastaría una interacción, simbólicamente hablando, para que se produjeran.

Otra característica, es que al aumentar la dosis aumente la probabilidad de que tengan lugar estos efectos, aunque no la de que sean más graves. Ocasionalmente, por alguna razón desconocida, los genes y el ADN cambian espontáneamente, produciendo lo que se denominan mutaciones espontáneas, que se caracterizan por ser permanentes y por mantenerse en las sucesivas generaciones de células formadas a partir de la división de una célula mutada. Si las células mutadas son células germinales, existe la posibilidad de que la descendencia del individuo irradiado exprese los efectos originados por la mutación; por el contrario si las células mutadas no son células germinales tan sólo en el individuo irradiado existe la posibilidad de que se manifiesten los efectos.

De acuerdo con estos criterios podemos hacer una clasificación de los efectos estocásticos en los siguientes puntos:

- a) Somáticos: afectan a la salud del individuo, que ha recibido la irradiación.
- b) Genéticos: afectan a la salud de los descendientes del individuo irradiado.

2.2.3.4 Respuesta orgánica total a la radiación

La *respuesta orgánica total* viene determinada por la respuesta combinada de todos los sistemas orgánicos a la radiación. La respuesta de un organismo adulto a una exposición aguda (en un tiempo corto, del orden de minutos), de radiación penetrante (rayos X, gamma o neutrones), que provenga de una fuente externa y que afecte a todo el organismo, se conoce como *síndrome de irradiación*.

La respuesta que se presenta a una dosis de irradiación corporal y total se puede dividir en tres etapas:

- I. Prodrómica.** Se caracteriza por náuseas, vómitos y diarreas. Puede durar desde algunos minutos hasta varias horas.
- II. Latente.** Ausencia de síntomas. Varía desde minutos hasta semanas.
- III. De enfermedad manifiesta.** Aparecen los síntomas concretos de los sistemas lesionados. El individuo se recupera o muere como consecuencia de las radiolesiones. Varía desde minutos hasta semanas.

2.2.4 Evaluación/cuantificación del riesgo de la radiación

La evaluación del riesgo de las radiaciones se basa en la probabilidad de sufrir los efectos mencionados, y en la severidad de éstos. Varios organismos internacionales publican los resultados de los estudios llevados a cabo en este sentido sobre amplios grupos de población. Por ejemplo, la ICRP (anexo B de la ICRP-60, 1990) y el volumen II del UNSCEAR-2000 (UNSCEAR, 2000). La ICRP establece que las estimaciones de riesgo asumidas, lo son únicamente con fines de protección y están ajustadas de forma tal que sean aplicables en la región de bajas dosis.

Límites de dosis

En general, se puede decir que es muy difícil establecer una cantidad de radiación que sea segura para el público en general. Teniendo en cuenta la utilidad real de las radiaciones en la práctica médica, el problema estriba en valorar apropiadamente el riesgo-beneficio al que se hallan sometidos ambos: personal que trabaja con radiaciones y público en general. Se trata en primer lugar, de evitar totalmente los efectos somáticos deterministas sobre el personal profesionalmente expuesto, y en segundo lugar reducir el riesgo de los efectos estocásticos a niveles aceptables, es decir: no mayores que los que conocen individuos con otras profesiones. En el año 1925 fue propuesto por primera vez un sistema de limitación de dosis. Estos límites, cuya denominación inicial fue “dosis de tolerancia” evolucionó hacia el concepto de "dosis máxima permisible”, acompañado de una reducción constantemente hasta nuestros días, fruto tanto de un mayor conocimiento de los efectos como de una mayor exigencia en la limitación de los riesgos. En la Tabla 2.2 se puede apreciar la evolución histórica sufrida por los límites de dosis dados por la ICRP (ICRP, 2007).

El concepto de dosis máxima permisible introducido en 1950 por la ICRP, se basa en el hecho fundamental de que, aunque no existan dosis de radiación seguras, existe una dosis por debajo de la cual se supone que el riesgo biológico para las personas expuestas profesionalmente y para la población en general es pequeño. Los valores indicados para el año 1990 son los indicados en las recomendaciones del año 1990 (ICRP-60); siendo los valores utilizados y que de las cuales se establecen las normas básicas relativas a la protección sanitaria de los trabajadores y de la población contra los riesgos que resultan de las radiaciones ionizantes.

Tabla 2.2 Evaluación de los límites de dosis (ICRP, 2007)

Personal profesionalmente expuesto	
Año	Exposición o dosis
1925	0,1 dosis eritema/año (equivale a 69 R/año para rayos X moderadamente duros - aproximadamente son 662 mSv/año . (Dtejido (rad) = 0,96· X (R))
1928	100 R/año (equivale a unos 960 mSv/año)
1934	60 R/año (equivalen a unos 576 mSv/año)
1949	0,3 rem/semana o 15 rem/año (equivale a 3 mSv/semana o 150 mSv/año)
1956	0,1 rem/semana o 5 rem/año (equivale a 1 mSv/semana o 50 mSv/año)
1977	50 mSv/año
1990	100 mSv/5 años y 50 mSv/año
Público en general	
Año	Exposición o dosis
1952	0,03 rem/semana (equivale a 0,3 mSv/semana)
1958	50 mSv/30 años
1977	5 mSv/año
1990	1 mSv/año

2.3 Seguridad radiológica y protección radiológica

2.3.1 Prevención y protección

Esta sección presenta algunos conceptos importantes y necesarios para el desarrollo de la presente tesis. Dentro de los más importantes destacan los conceptos de *prevención y protección*.

El peligro se refiere al potencial del daño dentro de un sistema. Por lo consiguiente puede haber varios tipos de peligros, por ejemplo, ‘peligro de un incendio’ o ‘peligro a la exposición a una radiación’, y hay que considerarlos o verlos como riesgos potenciales dentro de un sistema.

Un *evento crucial* es un evento el cual puede conducir a un daño (Ver Fig. 2.3).

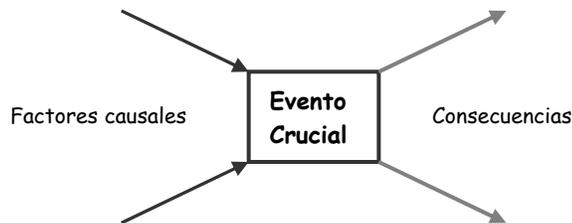


Figura 2.3 Representación esquemática de un evento crucial (Santos-Reyes, 2007)

Un *sistema peligroso* es un sistema el cual tiene la potencialidad de conducir a un evento crucial.

Un *factor peligroso* es un factor dentro de un sistema peligroso.

El *riesgo* puede ser definido como la probabilidad de un tipo particular de daño, por ejemplo, una fatalidad como resultado de un evento crucial.

Prevención y *Protección* pueden ser vistos en relación al concepto de un Evento Crucial (Ver Fig. 2.4). Medidas relacionadas a la *prevención* pueden ser consideradas como todas aquellas que reducen la probabilidad de un evento crucial. Por otro lado, las medidas relacionadas con la *protección* pueden ser consideradas como aquellas concernientes a las consecuencias después de un evento crucial. (Protección incluye ‘protección total’- no ocurre ningún daño - o ‘mitigación’ – ‘protección parcial’- algún daño puede ocurrir).

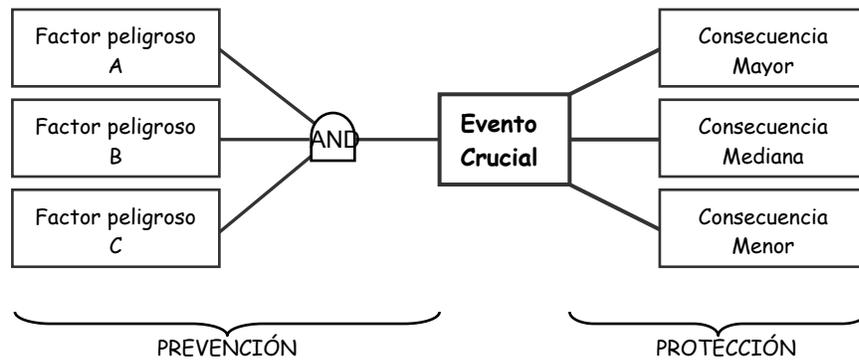


Figura 2.4 Diferencia entre prevención y protección en relación a un evento crucial. El diagrama se debe de leer de izquierda a derecha. El símbolo AND gate significa que todos los tres factores peligrosos tienen que estar presentes para que el evento crucial ocurra. Los factores que conducen al evento crucial en la parte izquierda del diagrama están representados en forma básica de árboles de fallas. (Beard, 2005; Santos-Reyes, 2007)

A continuación se presenta un ejemplo de un ‘peligro de una exposición a radiación’. La Figura 2.5 representa dicha situación. La *radiación* podría ser el evento crucial.

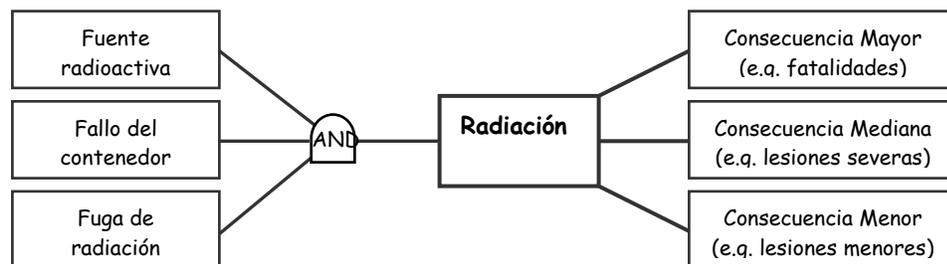


Figura 2.5 La *radiación* como evento crucial. El AND gate significa que todos los tres factores peligrosos tienen que estar presentes para que el evento crucial ocurra. Adaptado de Santos-Reyes (2007)

2.3.2 Protección radiológica

El uso de las radiaciones ionizantes reporta importantes beneficios a la Humanidad, pero también comporta ciertos riesgos, que comenzaron a ponerse de manifiesto pocos años después del descubrimiento de los rayos X, a finales del siglo XIX. Las primeras normativas sobre protección radiológica datan de 1928 y fueron elaboradas por un organismo internacional independiente de cualquier autoridad nacional o supranacional, denominado entonces "Comisión Internacional de Protección contra los Rayos X y el Radio", fundado en base a una decisión adoptada en el segundo Congreso Internacional de Radiología. El año 1950 se reestructuró esta Comisión y pasó a denominarse "Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP)", nombre con el que se la conoce en la actualidad. Con el paso de los años, esta Comisión ha ido ampliando su campo de interés a fin de tener en cuenta el creciente uso de las radiaciones ionizantes y también de las prácticas que comportan la generación de radiaciones ionizantes y de materiales radiactivos. Actualmente está generalizada la existencia de normas de protección radiológica en la mayoría de los países, basándose en las recomendaciones dictadas por la ICRP. Ello permite un elevado nivel de homogeneidad en los criterios de protección radiológica reflejados en la legislación de la mayoría de países.

Principios fundamentales

El objetivo fundamental del sistema de protección radiológica recomendado por la ICRP (ICRP, 2007) es el de garantizar un nivel elevado de protección, sin limitar indebidamente la obtención de los beneficios que se derivan del uso de radiaciones ionizantes. Se considera, que una práctica (uso de radiaciones ionizantes) está *justificada* cuando el beneficio que aporta (obtención de información diagnóstica, entre otros) compense el daño ocasionado como consecuencia de la exposición a la radiación. Además, el asumir un modelo lineal y sin umbral para los efectos de tipo estocástico, obliga a que las dosis se mantengan tan bajas como sea razonablemente alcanzable (ALARA), teniendo presente factores económicos y sociales. Ello comporta un proceso de *optimización*, de modo que en las prácticas se han de adoptar mejoras hasta que se alcance un punto donde el coste de estas mejoras no se vea compensado por la disminución del coste asociado al "detrimento radiológico". En el presente caso la disminución del detrimento radiológico viene dado por la disminución de dosis que comporta la mejora. Si se asigna un coste económico a la unidad de dosis recibida, la disminución del detrimento radiológico expresado en unidades monetarias vendrá dado por: disminución de la dosis a consecuencia de la mejora (Sv) x Coste por Unidad de Dosis (\$/Sv).

Además, a fin de garantizar un adecuado grado de protección individual, también se impone unos *límites individuales de dosis*. Adicionalmente a estos límites que protegen al individuo, cada día es más usual el uso de las denominadas *restricciones de dosis asociado a una práctica*. Estas pueden expresarse en forma de dosis individual máxima asociada a una práctica determinada y también como dosis colectiva (suma de todas las dosis individuales) máxima asociada a dicha práctica. En resumen, el sistema de protección radiológica actualmente recomendado por la ICRP está basado en tres principios fundamentales:

- Justificación
- Optimización
- Limitación de dosis

Justificación

Toda exposición a radiación ionizante debe estar justificada. Tal como ya se ha mencionado, el beneficio que nos aporte tiene que ser superior al riesgo de exponerse a ella.

Optimización

Se sigue el criterio “ALARA” (As Low As Reasonably Achievable), según el cual todas las exposiciones a las radiaciones ionizantes deben ser mantenidas tan bajas como sea razonablemente posible, teniendo en cuenta los citados factores económicos y sociales.

Limitación de dosis

En todo caso, la dosis de radiación que puede recibir cualquier individuo no debe superar unos valores establecidos como límites legales, lo que garantiza la protección del público en general y del personal profesionalmente expuesto. La limitación de los efectos derivados de las radiaciones ionizantes se consigue evitando las exposiciones no justificadas y manteniendo tan bajas como sea posible las justificadas. La aplicación de estos principios constituye la base para establecer unas medidas de protección que deben asegurar un riesgo individual justificado por el beneficio obtenido y suficientemente bajo, y adicionalmente mantener unos niveles totales de exposición a las radiaciones lo más bajos posibles. La dosis de radiación recibida por un individuo al permanecer en las proximidades de un emisor o generador de radiaciones ionizantes, depende de tres factores:

- El tiempo de permanencia
- La distancia entre la fuente y el individuo
- La materia interpuesta entre uno y otro

El sistema de protección radiológica establecido en la actualidad en México y en casi todos los países del mundo se basan en las recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) dadas en su publicación número 60 (ICRP-60, 1990).

2.3.3 Límites de dosis para el personal profesionalmente expuesto y para los miembros del público.

Las Tablas 2.3 y 2.4 muestran los límites de dosis para los trabajadores profesionalmente expuestos y los límites para los miembros del público, respectivamente.

Tabla 2.3 Límites anuales de dosis para los trabajadores expuestos

Tipo de exposición	Límites anuales de dosis para los trabajadores expuestos establecidos por la Directiva Europea 96/29 (EURATOM, 1996)
Exposición homogénea cuerpo entero o Dosis Efectiva (Suma de dosis por exposición externa y la dosis comprometida a 50 años por incorporaciones durante el periodo)	100 mSv en 5 años 5 mSv máximo anual
Cristalino	150 mSv
Piel, manos, antebrazos, tobillos	500 mSv
Mujeres en edad de procrear	Igual que a los hombres
Mujeres gestantes (dosis al feto)	1 mSv Total
Trabajadores categoría A	Si es probable que reciban una dosis efectiva superior a 6mSv al año o dosis equivalente superior a 3/10 de los límites para cristalino, piel y extremidades
Trabajadores categoría B	Si no es probable que reciban una dosis efectiva superior a 6 mSv al año o dosis equivalente superior a 3/10 de los límites para cristalino, piel y extremidades
Estudiantes y aprendices entre 16 y 18 años	8 mSv/año dosis efectiva 50 mSv (cristalino) y 150 mSv (piel y extremidades)
Estudiantes y aprendices mayores de 18 años	Igual que a los trabajadores, categoría A o B, según corresponda

Tabla 2.4 Límites anuales de dosis para los miembros del público

Tipo de exposición	Límites anuales de dosis para los miembros del público establecidos por la Directiva Europea 96/29 (EURATOM, 1996)
Dosis efectiva	1 mSv
Cristalino	15 mSv
Piel	50 mSv

2.4 Normas nacionales e internacionales en materia de seguridad radiológica

2.4.1 Leyes

- Ley General de Salud. D.O.F. 7-II-1984 (Ref. D.O.F. 27-V-1987, 23-XII-1987, 14-VI-1991, 7-V-1997)
- Ley de los Institutos Nacionales de Salud (D.O.F. 26-V-2000, 29-V-2002)

2.4.2 Normas Nacionales

- NOM-012-STPS-1999: Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se produzcan, usen, manejen, almacenen o transporten fuentes de radiaciones ionizantes.

- NOM-229-SSA1-2002: Salud ambiental. Requisitos técnicos para las instalaciones responsabilidades sanitarias, especificaciones técnicas de los equipos y protección radiológica en establecimientos de diagnóstico médico con rayos X.
- NOM-031-NUCL-1999, Requerimientos para la calificación y entrenamiento del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes
- NOM-007-NUCL-1994. Requerimientos de seguridad radiológica que deben ser observados en los implantes permanentes de material radiactivo con fines terapéuticos a seres humanos.
- NOM-036-NUCL-2001. Requerimientos para instalaciones de tratamiento y acondicionamiento de los desechos radiactivos.
- NOM-002-SSA2-1993. "Para la organización, funcionamiento e ingeniería sanitaria del servicio de radioterapia." D.O.F 11-X-1994
- NOM-013-NUCL-1995. Requerimientos de seguridad radiológica para egresar a pacientes a quienes se les ha administrado material radiactivo.
- NOM-012-NUCL-2002. Requerimientos y calibración de monitores de radiación ionizante
- NOM-008-NUCL-2003. Control de la contaminación radiactiva
- NOM-026-NUCL-1999. Vigilancia medica del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes.
- NOM-032-NUCL-1997. Especificaciones técnicas para la operación de unidades de teleterapia que utilizan material radiactivo
- NOM-035-NUCL-2000. Limites para considerar un residuo sólido como desecho radiactivo
- NOM-146-SSA1-1996. Salud ambiental. Responsabilidades sanitarias en establecimientos de diagnóstico médico con rayos X. (D.O.F. 08-X-1997).
- NOM-156-SSA1-1996. Salud ambiental. Requisitos técnicos para las instalaciones en establecimientos de diagnóstico médico con rayos X. (D.O.F. 26-IV-1997).
- NOM-157-SSA1-1996. Salud ambiental. Protección y seguridad radiológica en diagnóstico médico con rayos X. (D.O.F. 29-IX-1997).
- NOM-158-SSA1-1996. Salud ambiental. Especificaciones técnicas para equipos de diagnóstico médico con rayos X. (D.O.F. 20-X-1997).
- NOM-208-SSA1-2002. Regulación de los servicios de salud. Para la práctica de ultrasonografía diagnóstica. (D.O.F. 04-III-2004).

2.4.3 Reglamentos

- Reglamento general de seguridad radiológica. (D.O.F. del 22 de noviembre de 1988).
- Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de prestación de Servicios de Atención Médica. (D.O.F. 14-V-1986, 03-II-2004).
- Reglamento de la ley general de salud en materia de investigación para la salud. (D.O.F. 6-I-1987).

- Reglamento Interior de la Secretaría de Salud. (D.O.F. 6-VIII-1997, 19-I-2004). Ref. D.O.F. 4-VIII-1999

2.4.4 Organismos nacionales en materia de protección radiológica

- Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ).(<http://www.inin.mx/segrad/index.cfm>)
- Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS).

2.4.5 Normativa internacional vigente

- *Publication 60*-(ICRP)
- *Publication 62*-(ICRP, 1991c) - Radiological Protection in Biomedical Research.
- *Publication 63*-(ICRP, 1991d) - Principles for intervention for Protection of the Public in a Radiological Emergency
- *Publication 64*- (ICRP, 1993a). Protection from Potential Exposure: A Conceptual Framework.
- *Publication 65*(ICRP, 1993b). Protection against Radon-222 at Home and at Work.
- *Publication 73*. (ICRP, 1996a). Radiological Protection and Safety in Medicine.
- *Publication 75*. (ICRP, 1997a). General Principles for Radiation Protection of Workers.
- *Publication 76*. (ICRP, 1997b). Protection from Potential Exposures: Application to Selected Radiation Sources.
- *Publication 77*. (ICRP, 1997c). Radiological Protection Policy for the Disposal of Radioactive Waste
- *Publication 81*. (ICRP, 1998b). Radiation protection Recommendations as Applied to the Disposal of Long-lived Solid Radioactive Waste.
- *Publication 82*. (ICRP, 1999a). Protection of the Public in Situations of Prolonged Radiation Exposure.
- *Publication 93*-(ICRP,)
- Basic Safety Standards (BSS-115) del IAEA
- EURATOM 97/43
- APS (Advanced Photon Source, U. S. A.)

2.4.6 Organismos internacionales en materia de protección radiológica

- IAEA (The International Atomic Energy Agency)
- IEC (International Electro-technical Commission)
- ICRP (The International Commission on Radiological Protection)
- OECD/NEA (The Nuclear Energy Agency)
- CEC (The Commission of European Communities)
- WHO (The World Health Organization)

- ILO (The International Labour Organization)
- ISO (International Organization for Standardization)

2.5 Enfoques actuales a la gestión de seguridad

2.5.1. BS 8800: 2004 – Guía para los sistemas de administración de la salud ocupacional y seguridad (BS, 2004).

La nueva edición 2004 del BS 8800 concentra la versión modificada del HSG65. Los elementos del sistema de administración de la salud ocupacional y seguridad propuesto en este estándar están asociados con el concepto de la mejora continua, el cual implica: *revisión del estado inicial, políticas, planeación, implementación y operación, verificación y acción correctiva, administración de la revisión.*

Revisión del estado inicial

Las organizaciones tienen que llevar a cabo la revisión inicial de sus estados actuales para averiguar si cumplen con las regulaciones existentes, las guías de la administración de la salud y seguridad ocupacional existentes, las mejores prácticas y el mejor desempeño. Esto les ayudará definir el alcance, verificar la pertinencia e implementación del sistema de administración, así como el progreso de evaluación.

Política

La política de seguridad y salud ocupacional implica la documentación y aprobación de la política de la salud ocupacional y seguridad de la organización. Esta política tiene que reflejar el compromiso en varios aspectos: reconocimiento del sistema de administración de la salud ocupacional y seguridad como parte integral de la empresa, alcance de altos niveles del desempeño en materia de salud ocupacional y seguridad, distribución de los recursos, establecimiento y publicación de los objetivos relacionados con la salud ocupacional y seguridad, responsabilidad de la administración de la empresa del manejo de la salud ocupacional y seguridad, implementación de la política de la salud ocupacional y seguridad en todos los niveles, involucramiento y participación del empleado, revisión periódica de la política y aseguramiento de que a los empleados de todos los niveles se proporcione la preparación adecuada.

Planeación

La planeación involucra: identificación de los requerimientos de la salud ocupacional y seguridad, establecimiento de los criterios del desempeño, definición del que es lo que se pretende lograr, distribución de las responsabilidades, definición de los tiempos y resultados deseables. La organización tiene que realizar la evaluación de riesgos, así como identificar los requerimientos legales y otros aplicables en su caso, llegar a los acuerdos para la elaboración de los planes y objetivos generales, el desarrollo y la comprensión de la salud ocupacional y seguridad, elaborar los planes de operación para la implementación de los acuerdos, el plan para las

actividades operacionales del control, el plan para la evaluación del desempeño e implementación de las acciones correctivas.

Implementación y operación

La implementación y operación implican las estructuras y responsabilidades considerables de la administración y del personal en todos los niveles de la organización para la mejora continua del desempeño en materia de salud ocupacional y seguridad. La organización tiene que establecer y mantener los acuerdos para desarrollar y realizar el entrenamiento necesario para el personal, los avisos y competencias, la comunicación, la documentación del Sistema de Gestión de la Salud Ocupacional y Seguridad, los documentos del control, control operacional, preparación y respuesta en el caso de una emergencia.

Verificación y acción correctiva

La verificación y acción correctiva implica llevar a cabo el monitoreo del desempeño y la evaluación lo que se contempla como la principal manera de evaluar la efectividad del Sistema de Gestión de la Salud Ocupacional y Seguridad. Se sugiere que ambas medidas del desempeño, pro-activas y reactivas, tienen que tomarse para evaluar si la política y los objetivos se cumplieron. Junto con el monitoreo rutinario deben realizarse las auditorías periódicas que tienen como propósito una evaluación crítica de todos los elementos de los Sistemas de Gestión de la Salud Ocupacional y Seguridad.

Administración de la revisión

Finalmente las organizaciones tienen que definir la frecuencia y el alcance de las revisiones de sus Sistemas de Gestión de la Salud Ocupacional y Seguridad. La revisión tiene que considerar desempeño del sistema en general y el desempeño individual de cada elemento del Sistema de Gestión de la Salud Ocupacional y Seguridad, así como los resultados de las auditorías y los factores internos y externos, como son los cambios en la estructura de la organización, nuevas regulaciones y tecnologías.

El estándar BS 8800:2004 también proporciona la comparación con muchos otros sistemas de administración y muestra que los sistemas que se cubren en los estándares BS EN ISO 9001:2000, BS EN ISO 14001:2004, OHSAS 18001:1999 y ILO – OSH: 2001 son compatibles y pueden ser integrados con el sistema descrito en el BS 8800.

2.5.2. OHSAS 18001: Sistemas de administración de la salud ocupacional y seguridad (OHSMS)- (OHSAS, 1999).

Las Series de la Evaluación de la Salud Ocupacional y Seguridad 18000 (OHSAS por sus siglas en inglés, abreviación de Occupational Health & Safety Assessment Series) son varios estándares; uno de ellos es el estándar “Especificaciones para un sistemas de administración de la salud ocupacional y seguridad 18001”

(OHSAS 18001). Los OHSAS 18000 se derivaron del éxito internacional de los estándares ISO 9000 y ISO 14000 y de la necesidad de administrar la seguridad en el ámbito de trabajo. Este estándar fue creado en base al Estándar Británico BS 8800:1996.

A parte del OHSAS 18001 existe otro estándar - guía en estas series - el OHSAS 18002:2000 conocido como “Guía de los Sistemas de Gestión de la Salud Ocupacional y Seguridad para la Implementación de las OHSAS 18001” (traducción del idioma inglés Occupational Health and Safety Management Systems Guidelines for the Implementation of OHSAS 18001). Existen seis secciones primarias en el OHSAS 18001 que clasifican y describen los requerimientos específicos que la organización tiene que aplicar para poder implementar el sistema propuesto de gestión de la salud ocupacional y seguridad.

2.5.3. ANSI/AIHA Z10: Sistemas de administración de la salud y seguridad

El Instituto Nacional Americano de Estándares (ANSI por sus siglas en inglés, abreviación de American National Standards Institute) y la Asociación Americana de la Higiene Industrial (AIHA por sus siglas en inglés, abreviación de American Industrial Hygiene Association) desarrollaron y pusieron a disposición el Z10 – un estándar voluntario para los sistemas de administración de la salud y seguridad. El objetivo del estándar ANSI/AIHA Z10 es proporcionar las herramientas de una administración efectiva para la mejora continua del desempeño en materia de salud ocupacional y seguridad y aplicación de los conceptos de calidad reconocidos como la metodología *Planear-Hacer-Verificar-Actuar (PCDA)*.

2.5.4. ILO OSH 2001- Guía para los sistemas de administración de la salud ocupacional y seguridad (ILO, 2006).

El estándar ILO – OSH 2001 fue desarrollado por la Organización Internacional de Trabajo (ILO por sus siglas en inglés, abreviación de International Labour Organization). La ILO desarrolló esta guía voluntaria de los sistemas de gestión de la salud ocupacional y seguridad que tiene como objetivo proporcionar los valores e instrumentos relevantes de la ILO en cuanto a protección de la salud y seguridad del trabajador. Las recomendaciones prácticas de esta guía pretenden ayudar a las personas que son responsables de la administración de la salud ocupacional y seguridad pero no pretenden reemplazar las leyes nacionales, regulaciones o estándares aceptados. Su aplicación no requiere la certificación. La guía ILO-OSH 2001 de los Sistemas de Gestión de la Salud Ocupacional y Seguridad maneja prácticamente los mismos requerimientos que el OHSAS 18001, BS 8800:1996 y ANSI/AIHA Z10.

2.5.5 HSG65

El organismo gubernamental Británico, responsable de proveer las regulaciones en materia de la salud y seguridad, desarrolló y propuso un enfoque a la administración de la salud y seguridad conocido como “Administración exitosa de la salud y seguridad” (BS8800, 1996). Dicho estándar se estableció como obligatorio

en el Reino Unido y fue empleado exitosamente en los diferentes tipos de industria (industria nuclear, transporte, construcción, petroquímica, entre otros) en el Reino Unido y en algunos países europeos.

El estándar HSG65 contiene seis funciones clave: *política, organización, planeación e implementación, medición del desempeño y revisión, auditoría.*

Política

Involucra la comunicación dentro de la organización de los enfoques y objetivos, intenciones, criterios y principios en los que se basan las acciones y responsabilidades de la organización. Además estas políticas tienen que implementarse efectivamente y considerarse en todas las prácticas de la empresa y en la toma de decisiones.

Organización

Implica el diseño y establecimiento de las responsabilidades y relaciones entre los empleados quienes realizan las actividades de la organización.

Planeación

Involucra establecimiento de los objetivos y métodos de implementación de las políticas de la salud y seguridad de la organización; tiene que ver con la distribución de los recursos, la decisión de las prioridades y planteamiento de los objetivos con el propósito de eliminar y controlar el riesgo.

Medición del desempeño

El cual implica una gran variedad de las actividades de verificación y monitoreo, tiene que ver con la recopilación de la información sobre la implementación y efectividad de los planes y estándares de la organización. Las organizaciones tienen que evaluar su desempeño en base a los planes y estándares predeterminados; esto les puede ayudar a establecer, operar y mantener los sistemas que aseguren que su desempeño se evalúe “objetivamente”.

Auditoría

Involucra la recopilación de la información independiente sobre la eficiencia, efectividad y confiabilidad del Sistema de Gestión de Seguridad de la organización y el desarrollo de los planes para las acciones de corrección. La *revisión* describe las actividades que la organización puede usar para evaluar su desempeño y la toma de decisiones que permitan su mejora, el desarrollo futuro de sus políticas de la salud y seguridad. Las organizaciones tienen que revisar regularmente su desempeño por medio de las actividades del monitoreo y auditoría.

2.6 Conclusiones del capítulo

Este capítulo presentó el marco teórico y normativo en materia de seguridad radiológica. En particular, se eligió el sistema exitoso de seguridad HSG65 para modelar un SGSR con aplicación a Hospitales. Se mencionó que dicho modelo ha tenido resultados satisfactorios en muchos tipos de industria en el Reino Unido, también ha sido empleado ampliamente y con éxito en otros países. Lo anterior fue una de las razones principales del porqué HSG65 se seleccionó para el presente caso. Los detalles de la aplicación de dicho modelo en el caso de hospitales se describen en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO 3

Sistema de Gestión de Seguridad Radiológica (SGSR) con Aplicación a Hospitales

En este capítulo se presenta el Sistema de Gestión de Seguridad Radiológica (SGSR), con aplicación a Hospitales, propuesto en la presente tesis. Como se mencionó en el capítulo anterior, el SGSR está basado principalmente en el HSG65 (HSG65, 1997). Además, los siguientes documentos fueron tomados como referencia para el desarrollo del mismo: Norma de Seguridad Radiológica (INS, 1995, 2002), Estándares nacionales e internacionales, ver sección 2.4 del capítulo anterior.

3.1 Descripción del SGSR con aplicación a Hospitales

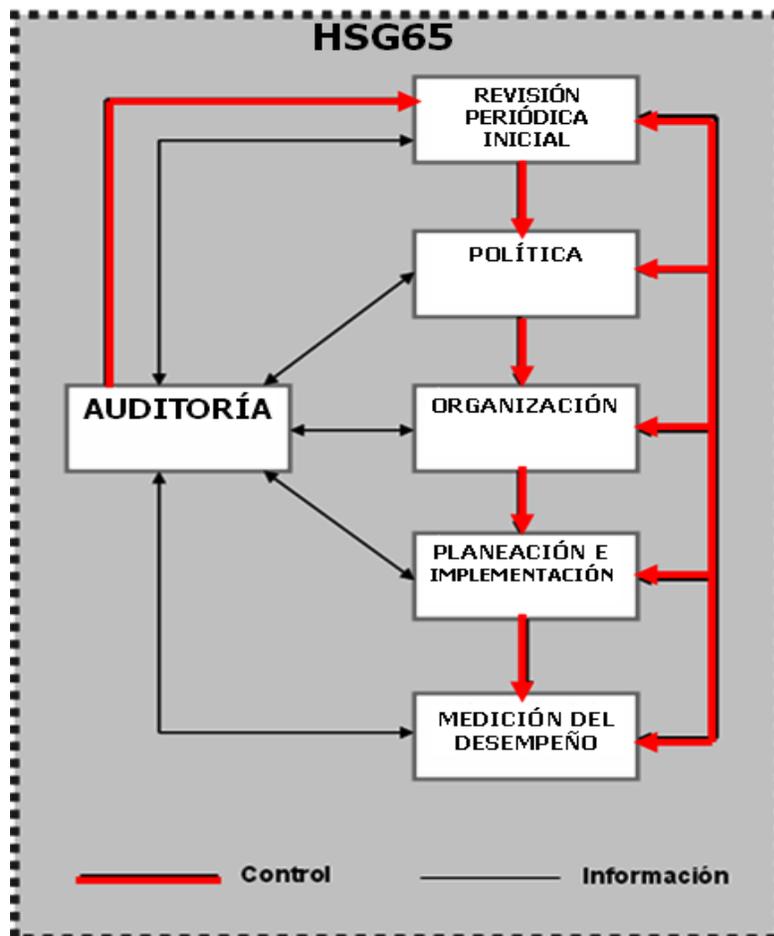


Figura 3.1 Administración exitosa de la salud y seguridad (BS8800, 1996)

3.2 Políticas efectivas de Seguridad Radiológica

MENSAJES PRINCIPALES

Las políticas efectivas de Seguridad Radiológica que contribuyen al bien funcionamiento del Hospital en general:

- Apoyar el desarrollo de los recursos humanos
- Minimizar las pérdidas económicas que se producen como el resultado de los eventos no planeados
- Reconocer que los accidentes, lesiones e incidentes son el resultado de las fallas en el control de la gestión de seguridad radiológica y no son necesariamente las fallas del trabajador
- Reconocer que la creación de una cultura positiva de seguridad implica lograr control sobre los riesgos radiológicos
- Asegurar un enfoque sistemático para la identificación de los riesgos y la distribución de los recursos para su control
- Apoyar las iniciativas de calidad que tienen como propósito la mejora continua

En términos generales “*política*” significa las intenciones generales, enfoques y objetivos – *la visión* del Hospital, los criterios y principios en los cuales se basa su acción.

La importancia del personal para un Hospital

Trabajo puede afectar de forma positiva o negativa la salud de una persona. La salud física y mental puede resultar afectada si las personas se exponen a un peligro (por ejemplo, el uso de las sustancias químicas, exposición a la radiación, entre otros). Sin embargo, si el lugar de trabajo es seguro y si las personas están interesadas e involucradas en su trabajo, la satisfacción del trabajo puede incrementar, lo que probablemente puede mejorar su bienestar, salud y seguridad.

Para que un Hospital administre con éxito la seguridad radiológica tiene que reconocer que hay una relación estrecha entre el control de los riesgos radiológicos, la seguridad y el éxito del hospital. Sus políticas de la salud y seguridad junto con otras políticas relacionadas con los recursos humanos deben ser diseñadas de tal manera que aseguren el compromiso y participación de los trabajadores, además promuevan el bienestar de los mismos. Las mejores políticas en cuanto a la seguridad radiológica no separan la gestión de la salud, seguridad y de los recursos humanos, porque las políticas reconocen que los trabajadores son el recurso más importante que tiene un Hospital.

El objetivo final es que la organización mejore su desempeño en cuanto a la seguridad radiológica, para que los accidentes y enfermedades se eviten y el trabajo forme la parte de una vida satisfactoria para el beneficio de ambos: del individuo y de la organización.

Evitar cualquier tipo de pérdidas – el enfoque principal a la seguridad radiológica

Las lesiones y enfermedades de los trabajadores cuestan dinero a cualquier organización; sin embargo, estas no son las únicas pérdidas económicas que se presentan en el caso de un accidente. El daño accidental a la propiedad, a las instalaciones, a los equipos o al medio ambiente, así como pérdidas o desventajas en el desempeño, también implican costos adicionales. El enfoque principal a la seguridad radiológica se basa en la investigación de los casos de los accidentes. Por ejemplo, un estudio que se realizó por Bird (1985) concluye que la característica más importante de una política efectiva de seguridad es aquella que examina todos los eventos y comportamientos no seguros de los trabajadores.

Por otro lado, el enfoque a la seguridad, que pretende evitar por completo las pérdidas, enfatiza la necesidad de la investigación y el análisis de **ambos** accidentes e incidentes, para que el Hospital logre el control efectivo de los riesgos radiológicos.

La reducción de los costos económicos de los accidentes y las enfermedades es importante en términos de economía de una organización, sin embargo existen otros imperativos para la gestión efectiva de la seguridad. El personal se beneficia trabajando en una organización comprometida con los altos estándares de seguridad. Además existen otros beneficiarios como son los pacientes, proveedores, compañías aseguradoras y de mantenimiento, las comunidades, público en general y los organismos reguladores.

La responsabilidad primaria de la prevención de los accidentes y enfermedades es de la administración.

Los accidentes, enfermedades e incidentes son eventos poco comunes e inesperados; habitualmente se deben a las fallas en el control y tienen múltiples causas. La causa inmediata puede ser la falla humana o técnica pero ésta con frecuencia se debe a las fallas organizacionales que son la responsabilidad del sistema de gestión de seguridad.

Los Hospitales tienen que comprender que los factores humanos afectan fuertemente su desempeño en materia de seguridad radiológica. Por ejemplo, la Fig. 3.1 muestra la relación entre los tres factores que pueden influenciar en el desempeño de un Hospital en materia de seguridad radiológica.

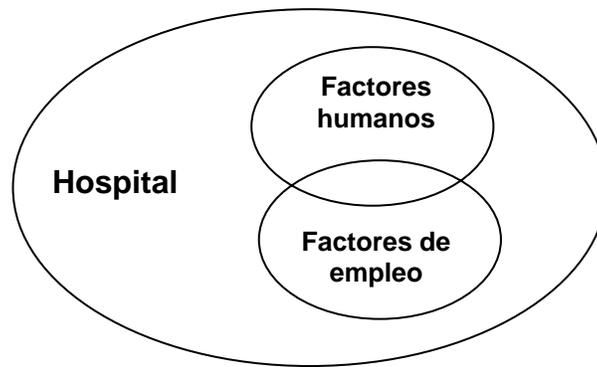


Figura 3.2 Relación entre factores que afectan el desempeño de un Hospital en materia de seguridad radiológica.

Los factores organizacionales son los que más influyen en el comportamiento individual y grupal, y aun así estos factores con frecuencia no se consideran en el diseño del trabajo y en la investigación de los accidentes y los incidentes. Los Hospitales tienen que crear sus propias culturas positivas de seguridad radiológica que tienen que promover la participación del personal y su compromiso con la seguridad radiológica, a todos los niveles de la organización. Esta cultura tiene que enfatizar que cualquier desviación de los estándares de seguridad establecidos es inaceptable.

Los factores del empleo influyen directamente en el desempeño individual y en el control de los riesgos. Las tareas tienen que estar diseñadas de acuerdo con los principios ergonómicos para que tomen en cuenta las limitaciones del comportamiento humano. Las diferencias entre los requerimientos del empleo y las capacidades individuales aumentan el potencial de un error humano. Ajustar la tarea a las capacidades del trabajador garantiza que la gente no esté sobrecargada del trabajo; esto podría contribuir al buen desempeño. La adecuación física incluye el diseño del lugar de trabajo y del ambiente del trabajo. La adecuación mental implica tomar en cuenta la información individual y los requerimientos de la toma de decisiones así como la percepción del trabajador acerca de la tarea que tiene que desempeñar.

Los factores personales son los atributos individuales que los trabajadores muestran en su trabajo, pueden ser las fortalezas o debilidades con respecto a las demandas de una tarea particular. Por factores personales se entiende como los factores físicos (por ejemplo, las cualidades o limitaciones que resultan de las discapacidades o enfermedades), factores mentales (por ejemplo, los hábitos, actitudes, habilidades y personalidad) que influyen en el comportamiento de un trabajador. Los efectos negativos sobre el desempeño del trabajador no siempre pueden remediarse. Por ejemplo, algunas de las características como son las habilidades y actitudes pueden modificarse a través de la capacitación y experiencia. Por otro lado, la personalidad del trabajador es relativamente constante y no puede modificarse en el contexto del lugar de trabajo. Consecuentemente puede haber la necesidad de correlacionar a los trabajadores con sus tareas a través de métodos apropiados de selección.

La importancia de los factores organizacionales

Los objetivos en materia de seguridad radiológica de los Hospitales deben ser considerados de la misma manera que otros objetivos de la organización. Ellos se convierten en una parte integral de la cultura, y esto se reconoce explícitamente haciendo la seguridad radiológica la responsabilidad de la administración. El enfoque tiene que empezar desde arriba. Un soporte visible y activo, liderazgo fuerte y el compromiso de los directores y encargados de departamentos y unidades son factores fundamentales para el logro del éxito en la gestión de la seguridad radiológica. El Hospital en su totalidad tiene que compartir la idea y las creencias de la administración sobre la importancia de las cuestiones de seguridad radiológica y la necesidad de lograr los objetivos de la política de la seguridad radiológica. Algunos ejemplos de afirmaciones de *la filosofía de seguridad* se muestran a continuación:

“La seguridad radiológica es la responsabilidad de la administración y tiene el mismo grado de importancia que el servicio y la calidad.”

“En el campo de la seguridad radiológica nosotros buscamos alcanzar los más altos estándares. Nosotros no pretendemos lograr esta meta simplemente para cumplir con la legislación actual, sino porque esta dentro de nuestros mejores intereses. La gestión efectiva de la seguridad radiológica conduce al menor número de accidentes que producen lesiones y tiempo fuera del trabajo que es una inversión que nos ayuda a lograr nuestros propósitos”.

“El Hospital considera que la excelencia en la gestión de seguridad radiológica es un elemento esencial dentro del plan general de la organización”

“Todos los accidentes y las enfermedades ocupacionales se puede prevenir”

Enfoque sistemático

Para la implementación efectiva de una política de seguridad radiológica es esencial una planeación lógica y rigurosa si se pretende lograr el control de los riesgos; además los recursos necesarios deben ser distribuidos de acuerdo a las prioridades según el nivel de cada riesgo. Un Hospital puede medir su desempeño en cuanto al cumplimiento de los planes estableciendo los criterios adecuados de monitoreo del riesgo. Los accidentes descritos en el Capítulo 2, son ejemplos de efecto que puede surgir si no se da una atención adecuada a los riesgos radiológicos.

Gestión de la calidad, salud y seguridad radiológica

En la actualidad las organizaciones (incluyendo los hospitales) frecuentemente no logran una gestión efectiva de la seguridad porque ellos lo ven como algo muy distinto a lo que son sus otras tareas de administración. Habitualmente se concluye que es demasiado difícil y se pone suficiente empeño a este aspecto, a diferencia de los aspectos de la calidad de servicio. Por ejemplo, el enfoque tradicional para asegurar la calidad de un servicio enfatizaba el control de calidad al final del mismo. Este proceso fue muy costoso e ineficiente. El enfoque

moderno es el *asegurar la calidad* a lo largo del servicio – administración de la calidad “dentro” y no inspección “en la salida”.

Un enfoque similar debe aplicarse a la gestión de la seguridad radiológica. En general, los Hospitales tradicionalmente solo reaccionan a los casos de accidentes una vez que han ocurrido. Sin embargo muy poco énfasis se pone en la prevención. Si se pretende lograr el control de los riesgos radiológicos, entonces es necesario el diseño e implementación de un sistema de gestión efectivo de seguridad radiológica.

La administración total de la calidad (por sus siglas en inglés TQM) promueve la mejora continua en todos los aspectos de las actividades de una organización. Este enfoque enfatiza en una identificación del proceso principal, establecimiento de los estándares del desempeño, verificación de los logros comparando con los estándares, implementación de las acciones correctivas y finalmente la mejora continua.

Con frecuencia este procedimiento lo representan como la metodología “Planear-Hacer-Verificar-Actuar” y de igual manera puede aplicarse a la gestión de la seguridad radiológica (Ver Fig. 3.2)

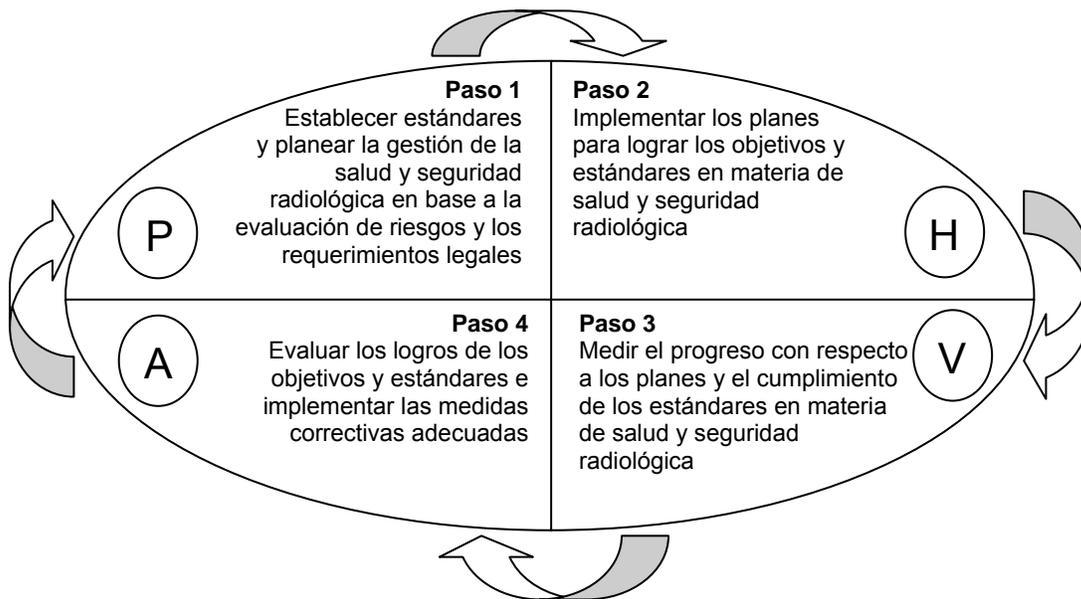


Figura 3.3 Metodología “Planear-Hacer-Verificar-Actuar” para la gestión efectiva de la salud y seguridad

3.3 ORGANIZACIÓN

MENSAJES PRINCIPALES

Los Hospitales tienen que definir las responsabilidades y relaciones que promuevan una cultura positiva en materia de seguridad radiológica y asegurar la implementación y el desarrollo continuo de la política de la seguridad radiológica. Son necesarias las estructuras y procesos que:

- Establecen y mantienen el control sobre la gestión dentro de la organización
- Promueven la cooperación entre los trabajadores, representantes del área de la seguridad y los grupos y de esta manera convierten las cuestiones de seguridad en un esfuerzo de colaboración
- Aseguran la comunicación de la información necesaria a través de la organización
- Aseguran la competitividad de los trabajadores

La política marca la dirección a seguir en materia de seguridad radiológica, sin embargo los Hospitales necesitan crear un sistema robusto de gestión de seguridad radiológica. Uno de los elementos más importantes a considerar en el SGSR es la “cultura de seguridad radiológica”. Esta cultura de la seguridad radiológica puede tardar años en establecerse (madurar) y implica todos los aspectos del trabajo, afecta el comportamiento individual y grupal, diseño de las tareas, la planeación y ejecución de las actividades del trabajo. Una de las definiciones de lo que es una “cultura de seguridad” en general es:

“La cultura de seguridad de una organización es el producto de los valores, actitudes, percepciones, competencia y patrones del comportamiento de cada individuo y de grupos de individuos (trabajadores) que determina el compromiso, el estilo y la competitividad de la gestión de la salud y seguridad de la organización. Las organizaciones con una cultura de seguridad positiva se caracterizan porque han encontrado la manera de comunicarse basada en la confianza mutua y por una percepción compartida de la importancia de la seguridad y la confianza en la eficacia de las medidas preventivas.” (ACSNI 3er reporte)¹¹

Las actividades necesarias para la promoción de una cultura positiva de seguridad radiológica se clasifican de la siguiente manera:

I. Control

II. Cooperación

III. Comunicación

IV. Competencia

A continuación se describirán cada una de las actividades listadas.

I. Control

Establecer y mantener el control es la parte central de todas las funciones del SGSR. El control se logra gracias al compromiso de los trabajadores en el logro de los objetivos planteados de la seguridad radiológica. Para empezar, el director general de un hospital debe tomar la responsabilidad completa del control de los factores que podrían conducir a las enfermedades, lesiones y fatalidades. El arreglo inicia nominando un responsable en la dirección del hospital que coordinará y vigilará la implementación de las políticas de la seguridad radiológica. Las responsabilidades relacionadas con la seguridad corresponden a los directores, y los especialistas tendrán el papel de consejeros. Si los directores señalan claramente que se pretende lograr y se responsabilizan del ambiente de trabajo, esto ayuda crear un ambiente positivo y favorece una cultura creativa y de aprendizaje. Los representantes del área de la seguridad radiológica también pueden contribuir significativamente en dicho proceso. El mensaje principal es el de mantener un esfuerzo colectivo para desarrollar y mantener el sistema de control y no permitir que el evento crucial (incidente o accidente) sucede – y no tratar de buscar y castigar a los culpables después de la falla del sistema.

La parte principal del proceso del establecimiento del control es crear los estándares del desempeño que ayudan a conectar las responsabilidades con los resultados, y que reconocen que el logro de las metas se basa en los resultados concretos. El personal con las responsabilidades específicas en materia de seguridad radiológica tiene que reportar de alguna manera los resultados. Esto puede involucrar el uso de los sistemas existentes del personal como lo son:

- La descripción de cada empleo individual que también contenga las responsabilidades en cuanto a la seguridad radiológica;
- La revisión del desempeño y sistemas de evaluación que permiten medir y recompensar el desempeño individual en cuanto a la seguridad radiológica;
- Los procedimientos que permiten identificar y ejercer el efecto sobre las fallas cometidas por los trabajadores (incluyendo los directores) para lograr un desempeño adecuado en materia de seguridad radiológica. Estos procedimientos pueden estar integrados en el reglamento general del hospital o pueden emplearse cuando esto se justifica por la seriedad de la falla.

En resumen, estos reglamentos de control solamente son efectivos cuando los objetivos de la seguridad radiológica se consideran del mismo grado de importancia que otros objetivos del Hospital. Los sistemas generales de remuneración y recompensación tienen que apoyar el logro de cumplir los objetivos de la seguridad radiológica y evitar los conflictos con la calidad y otros objetivos de la organización. Cuando se emplean los esquemas de la recompensa en materia de seguridad, estos esquemas tienen que enfatizar el logro de los estándares del desempeño específicos en vez de las metas arbitrarias o aquellas basadas solamente en evitar los

accidentes o enfermedades. Es mejor un esquema que recompensa a grupos de trabajadores y no al esfuerzo individual; es decir, que tenga el enfoque de colaboración en la gestión de seguridad radiológica.

La Figura 3.4 presenta un diagrama de asignación de responsabilidades en relación a seguridad radiológica de un Hospital. Cabe mencionar que es una descripción genérica; sin embargo, el diagrama muestra los elementos esenciales que debe tener un SGSR.

A continuación se describen las funciones y responsabilidades en materia de Seguridad Radiológica (Ver Fig. 3.4).

Dirección General de un Hospital

El director general es el representante legal del Hospital y algunas de sus funciones y responsabilidades son las siguientes:

- Firmará y tramitará la documentación preceptiva de las instalaciones y aprobará los procedimientos relativos a la seguridad radiológica, elaborados con la participación de los supervisores y con el visto bueno de la Dirección Médica.
- Implementará el programa de garantía de calidad en las distintas unidades asistenciales en las que se haga uso de radiaciones ionizantes.
- Atribuirá al director de la DSR (Dirección de Seguridad Radiológica) la autoridad necesaria para dar cumplimiento a los objetivos de la seguridad radiológica planteados en la política del Hospital

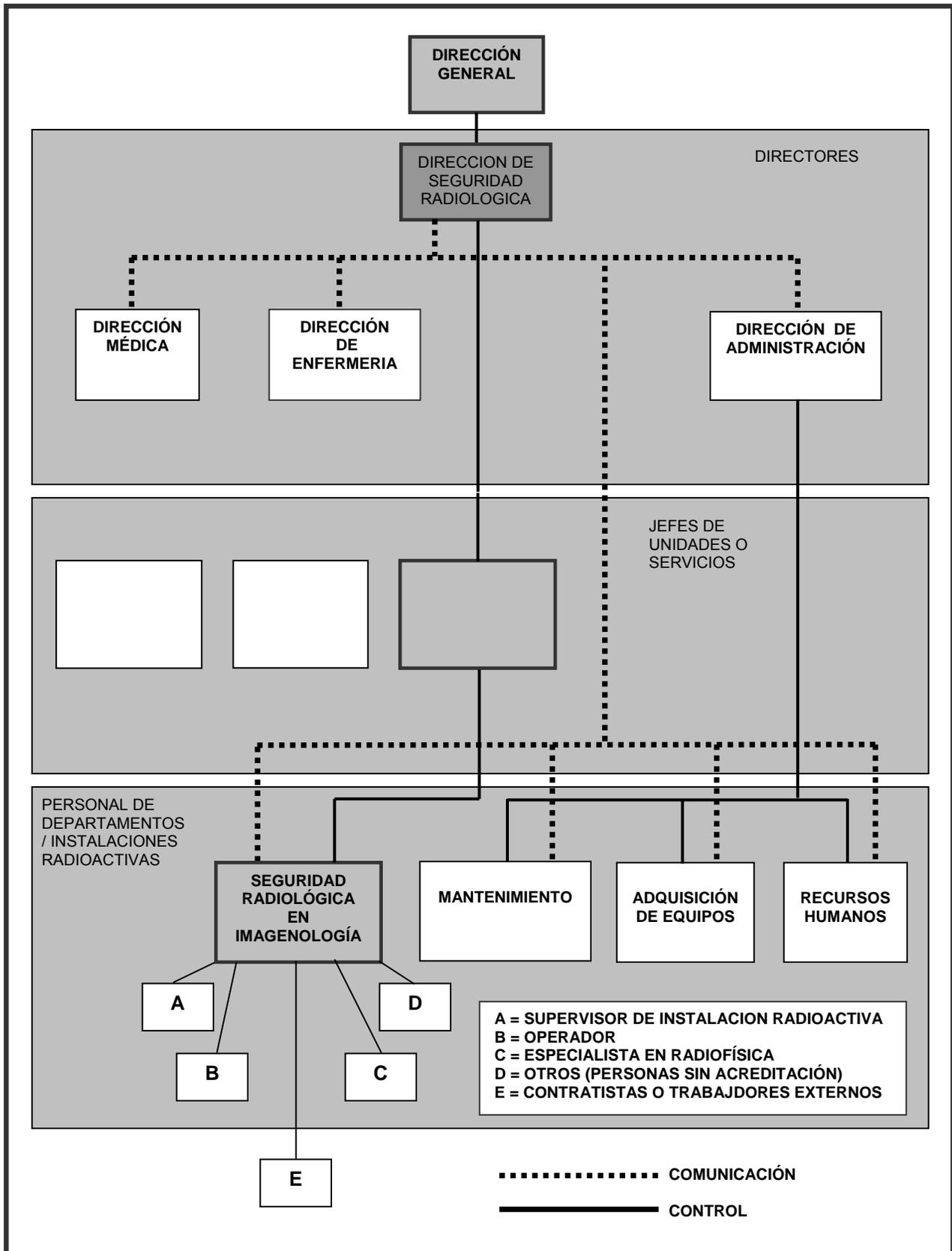


Figura 3.4 Control – Estructura Genérica Organizacional de un Hospital en relación a seguridad radiológica

Dirección de Seguridad Radiológica (DSR)

La Fig. 3.5 muestra la estructura organizacional de la DSR, la cual consta de:

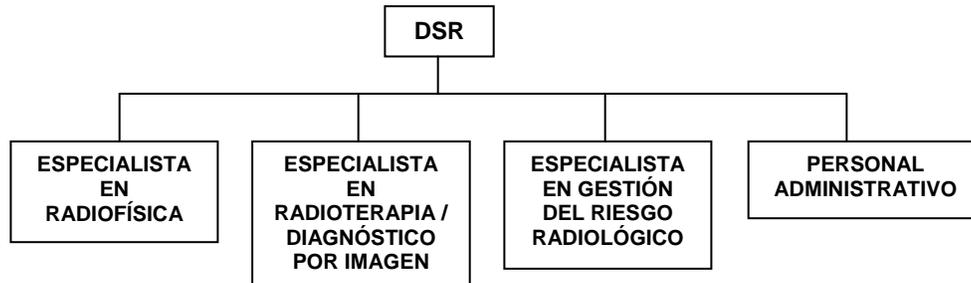


Figura 3.5 Estructura organizacional de la DSR

- (1) el director de la DSR, el cual tendrá que ser un especialista en Radiofísica Hospitalaria. Además deberá estar en posesión de un Diploma otorgado por la ININ o CNSR o equivalente.
- (2) Especialista en Radiofísica
- (3) Especialistas en Radioterapia o en Diagnóstico por Imagen
- (4) Especialistas en la gestión de Riesgos Radiológicos
- (5) Personal Administrativo

Funciones y obligaciones de la DSR

La DSR es responsable de la vigilancia del cumplimiento de la legislación vigente en materia de seguridad radiológica. Además de la normativa propia y la establecida en los reglamentos de funcionamiento de las distintas instalaciones y áreas del hospital.

Las principales misiones de la DSR:

1. Evaluar y emitir informes en materia de protección radiológica en los siguientes casos:
 - Construcción y modificación de instalaciones o áreas con equipos radiológicos o donde se emplea material radioactivo;
 - Actividad con nuevas fuentes o técnicas, así como modificación de las condiciones de trabajo con las mismas;
 - Comprobación periódica de la eficacia de los dispositivos y procedimientos de protección establecidos
 - Estudio de los riesgos derivados del funcionamiento de las instalaciones y de las actividades que en ellas se desarrollan;
 - Participación en los procesos de adquisición del equipo radiológico;
 - Establecimiento de normas, instrucciones y procedimientos específicos sobre seguridad radiológica, aplicables a las actividades realizadas en las instalaciones;

- Colaboración con los responsables de las distintas instalaciones en el establecimiento de procedimientos y en el desarrollo de programas de control y garantía de calidad en materia de seguridad radiológica;
- Asesoramiento a los jefes de servicio y a los supervisores de las instalaciones que utilizan radiaciones ionizantes;
- Información sobre optimización, de las técnicas nuevas o de los proyectos de investigación que impliquen el uso de radiaciones ionizantes;
- Investigación de las causas de anomalías, incidentes, accidentes que pudieran producirse en las instalaciones, como, por ejemplo, superaciones de límites de dosis establecidos y niveles de referencia;
- Colaboración en la preparación de los planes de emergencia de las instalaciones.

2. Vigilancia operacional

- Realizar la vigilancia radiológica de los trabajadores expuestos decidiendo las técnicas y procedimientos a emplear teniendo en cuenta los principios de optimización;
- Realizar la vigilancia radiológica de las instalaciones y de las actividades en ellas realizadas, decidiendo el tipo y frecuencia de las medidas a efectuar;
- Gestionar y realizar la vigilancia radiológica de los residuos radioactivos, sólidos y líquidos generados en las instalaciones, decidiendo el tipo y frecuencia de las medidas;
- Realizar la calibración y comprobación periódica del buen estado y funcionamiento de los instrumentos de medida;
- Vigilar la actividad de los trabajadores externos en las instalaciones radioactivas;
- Establecer los niveles de referencia de los parámetros a medir en los distintos procedimientos de vigilancia radiológica;
- Clasificar y señalar las zonas con riesgo radiológico de las instalaciones;
- Clasificar a los trabajadores expuestos en función de riesgo radiológico al que están sometidos;
- Establecer las circunstancias en las cuales se ha de definir el cese de la operación de una instalación o desarrollo de una práctica, por incumplimiento de las normas de protección radiológica o por la aparición de riesgos radiológicos no aceptables.

3. Documentación, registros y controles administrativos

- Elaborar los procedimientos específicos aplicables a las actividades de la DSR;
- Registrar los datos recogidos en los programas de vigilancia radiológica del personal, de las instalaciones, de las operaciones y de los efluentes radioactivos;
- Archivar los historiales dosimétricos individuales de los trabajadores expuestos de las instalaciones, conocer la categoría de aptitud de los trabajadores expuestos y sus modificaciones como consecuencia;
- Disponer del historial dosimétrico previo de los trabajadores expuestos que se incorporen a las instalaciones;

- Entregar una copia de su historial dosimétrico al trabajador, cuando se produzca un cese de empleo en las instalaciones con riesgo radiológico;
- Disponer de un inventario de las fuentes radioactivas de las instalaciones permanentemente actualizado;
- Conocer en cada instalación las fuentes radioactivas utilizadas, así como su actividad;
- Disponer de copia registrada de la documentación preceptiva que se envíe desde/ a los organismos competentes.

4. Formación en materia de protección radiológica

- Comprobar la adecuada formación de los profesionales que se incorporen a una instalación radioactiva, así como de la posesión de la correspondiente licencia o acreditación;
- Organizar y participar en diferentes cursos y seminarios relacionados directamente con la protección radiológica;

Funciones del director de la DSR

- Asesorar al director del centro hospitalario en materia de seguridad radiológica y mantenerle informado de sus obligaciones respecto a la normatividad legal vigente, poniendo en su conocimiento todas las deficiencias que puedan incidir en la seguridad de las instalaciones y en la protección de los trabajadores expuestos, miembros del público y pacientes;
- Vigilar el cumplimiento de las normas establecidas en el SGSR;
- Establecer las actividades de la DSR y supervisar el cumplimiento de los procedimientos específicos que regulan el funcionamiento del mismo y su cumplimiento;
- Visar dictámenes, evaluaciones e informes emitidos, en relación con las misiones de la DSR;
- Certificar los historiales dosimétricos de los trabajadores expuestos;
- Comunicar por escrito, a los responsables jerárquicos de las instalaciones y prácticas de las circunstancias que aconsejan o exigen la paralización de las mismas por incumplimiento de las normas de protección radiológica o a la existencia de riesgos radiológicos indebidos, dando cuenta a la Dirección de centro;
- Establecer una vía de comunicación fluida para la transmisión de información y documentación necesaria para el cumplimiento de las misiones de la DSR con los distintos servicios y direcciones del centro, de acuerdo con lo establecido por el SGSR;
- Tener conocimiento y, a ser posible, estar presente durante las inspecciones del ININ así como tener constancia y conocimiento de los informes y comunicaciones que remita dicho organismo
- Informar sobre las medidas de protección radiológica a los trabajadores que, sin necesitar licencia, operen en una instalación con riesgo radiológico, ya que están obligados a conocer y cumplir las normas de protección contra las radiaciones ionizantes. Deben conocer, asimismo sus actuaciones en caso de emergencia. Los programas de formación habrán de establecerse según los criterios previamente aprobados por el ININ.

Dirección Médica

Es responsable de establecer los lineamientos de responsabilidad de las unidades de asistencia de cada instalación radiactiva. Además esta obligado a comunicar a la DSR los movimientos de personal facultativo producidos en los servicios con riesgos radiológico, con anticipación suficiente para adoptar las medidas necesarias para su adscripción o baja en las instalaciones correspondientes.

Dirección de Enfermería

El director, de acuerdo a sus atribuciones, es el responsable del cumplimiento de las normas establecidas en el SGSR en relación al personal a su cargo. Además debe asignar las funciones a cada puesto de trabajo en las instalaciones con riesgo radiológico, con objeto de que la DSR pueda clasificar adecuadamente al personal que las desempeñe. Además estará obligado a comunicar a la DSR todos los movimientos del personal (altas, bajas, y traslados) producidos en los Servicios con riesgo radiológico, con suficiente antelación de tal manera que permita adoptar las medidas necesarias para su adscripción a la instalación radioactiva correspondiente.

Dirección Administrativa

El director, de acuerdo a sus atribuciones, es el responsable del cumplimiento de las normas establecidas en el SGSR en relación a:

- La contratación del personal sanitario (o no sanitario) que vaya a ser destinado a Servicios y Unidades con riesgo radiológico;
- Adquisición de equipos productores de radiaciones ionizantes, materiales radioactivos;
- Obras, centralizadas o descentralizadas, así como el mantenimiento que afectan a las instalaciones con riesgo radiológico.

Unidades Médicas o de Servicios

Los encargados de las Unidades o Servicios médicos deben establecer la organización y los lineamientos de responsabilidad dentro de sus servicios o unidades, en lo relativo a su funcionamiento como instalación radioactiva. Además, deben coordinar con el Director de la DSR las actividades que dicho servicio debe realizar en su instalación, facilitándole el acceso a los equipos y la documentación necesaria para el desarrollo de sus funciones.

Personal de las instalaciones radioactivas

Todas aquellas personas que trabajen en una instalación radiactiva deben estar formadas y capacitadas para ello. Aquellas personas que en virtud de su trabajo manipulen los dispositivos de control de la instalación y/o el material radioactivo o dirijan dichas manipulaciones, deben estar provistas de la correspondiente acreditación (por ejemplo, en el caso de una instalación de rayos X) o licencia de operador o supervisor (en el caso de instalaciones

radioactivas), ambas otorgadas por la ININ o CNSR. A continuación se describen brevemente las responsabilidades y funciones de cada una de las personas que trabajan en instalaciones radioactivas:

{a} *Supervisor de una instalación radioactiva o de una instalación de rayos X*

- En virtud de su licencia o acreditación, el supervisor está capacitado para dirigir el funcionamiento de la instalación y las actividades de los operadores, siendo responsable de tener actualizado el “diario de operaciones”.
- Como responsable directo del funcionamiento de la instalación, está obligado a cumplir y hacer cumplir las normas especificadas en el SGSR, en el plan de emergencia y en cualquier otro documento oficialmente aprobado.
- Tiene la autoridad para detener, en cualquier momento, el funcionamiento de la instalación, si considera que se han reducido las condiciones de seguridad radiológica, comunicándolo inmediatamente a la DSR (ver línea punteada en la Fig. 3.4). Para autorizar la reanudación de su funcionamiento deberá tener constancia explícita de que se han restablecido dichas condiciones de seguridad radiológica, a juicio de del especialista de radiofísica hospitalaria y con conocimiento de la DSR.
- En caso de emergencia adoptará las medidas que estime necesarias, de acuerdo con los planes de emergencia aprobados, dejando constancia de ellas y comunicándolo a la mayor brevedad posible a la DSR.
- Participar activamente con la DSR en la elaboración de la documentación preceptiva de la instalación y elaborará el informe anual de la instalación.
- Comunicará a la DSR, previamente a su modificación, las nuevas técnicas o la modificación de las existentes que puedan influir en las condiciones de seguridad radiológica.

{b} *Operador*

- En virtud de su licencia o acreditación está capacitado, bajo la dirección de un supervisor (en el caso de una instalación radioactiva), o de un titulado que dirija la instalación (en el caso del radiodiagnóstico) para manipular los dispositivos de control de los equipos y/o el material radioactivo de la instalación. Esta licencia o acreditación es obligatoria, sin perjuicio de la titulación que, por otros motivos, también pueda ser exigible, como ya se ha mencionado.
- Tendrá autoridad para detener en cualquier momento el funcionamiento de la instalación si estima que se han reducido las condiciones de seguridad y le es imposible informar al supervisor de esta circunstancia con la prontitud requerida.

{c} *Especialista en radiofísica hospitalaria*

Las instalaciones de radiodiagnóstico, cuando el número de equipos o las técnicas empleadas lo aconsejen, las de radioterapia y las de medicina nuclear, dispondrán de un especialista en radiofísica hospitalaria.

{d} *personas sin acreditación ni licencia*

Toda persona, que no posea licencia ni acreditación, y trabaja en una instalación con riesgo radiológico deberá conocer y cumplir las normas de protección contra las radiaciones ionizantes así como su actuación en caso de emergencia.

Especialista en la gestión de riesgos radiológicos

Deberá contar con la colaboración de la DSR para la determinación y evaluación de los riesgos radiológicos derivados del uso de radiaciones ionizantes que puedan afectar a la seguridad y a la salud de los trabajadores.

Responsable de recursos humanos

El responsable de recursos humanos establecerá, en colaboración con la DSR, la metodología más apropiada para el cumplimiento de lo establecido en el SGSR, en lo referente a la contratación, capacitación, ubicación y asignación de tareas de trabajo del personal para las instalaciones y áreas con riesgo radiológico.

Responsable de la adquisición de equipos

El responsable de la adquisición de equipos establecerá, en colaboración con la DSR, la metodología más apropiada para el cumplimiento de lo establecido en el SGSR, en lo referente a las propuestas de adquisición, obras y contratación de materiales, equipos y servicios que afecten a las instalaciones con riesgo radiológico o actividades directamente relacionadas con ellas.

Responsable del mantenimiento de equipos e instalaciones

El responsable del mantenimiento de equipos e instalaciones establecerá, en colaboración con la DSR, la metodología más apropiada para el cumplimiento de lo establecido en el SGSR, en lo referente a las operaciones de mantenimiento preventivo o correctivo que afecten a los equipos e instalaciones con riesgo radiológico, así como a las obras o modificaciones que afecten a dichas instalaciones.

Trabajadores externos

Aquí se entiende por *trabajador externo* a cualquier trabajador clasificado como expuesto que efectúe una intervención de cualquier carácter, en la zona controlada de una instalación radioactiva y que esté empleado de forma temporal o permanente por una empresa externa al ámbito hospitalario.

Todo trabajador externo tiene la obligación de colaborar con los responsables de la protección radiológica tanto de su empresa como propios de la misma instalación, en su protección contra las radiaciones ionizantes, cumpliendo las normas establecidas.

II. Cooperación

La participación de los trabajadores da el soporte al control del riesgo porque los hace sentir “protagonistas” de las políticas de seguridad radiológica. Esto establece la comprensión de que el Hospital como tal y el personal que trabaja en el Hospital ambos se benefician por un buen desempeño en cuanto a la salud y seguridad. El conocimiento y la experiencia acumulados gracias a la participación, el compromiso y el involucramiento hacen que las cuestiones de seguridad radiológica verdaderamente se vuelven “el asunto de cada uno”.

En algunos países como la Gran Bretaña existe un requerimiento legal de consultar a los trabajadores (no nada más informarles) sobre aquellas cuestiones de trabajo que les afectan. En los casos cuando los sindicatos son reconocidos, las consultas tienen que llevarse a cabo a través de los representantes de la seguridad que se proponen de acuerdo a las Regulaciones del Comités de la Seguridad y de los Representantes de Seguridad (1977)¹³. Todos los demás trabajadores no representados de esta manera también tienen que ser entrevistados directamente o a través de los representantes elegidos por los trabajadores que van a representar, de acuerdo a las Regulaciones de la Salud y Seguridad (entrevista con trabajadores) (1996)¹⁵. Para que lleven a cabo sus actividades y reciban la capacitación necesaria, todos los representantes deben tener el tiempo extra pagado; a ellos también se les tienen que crear las facilidades adecuadas in situ.

Los Hospitales tienen que “ir más allá” que simples requerimientos de la ley. Los representantes de la Seguridad Radiológica deben ser capacitados junto con los demás trabajadores, lo que les permite hacer una contribución, en base al conocimiento que poseen, en las cuestiones de la seguridad radiológica. Ellos también se benefician de la política de la comunicación abierta y están involucrados directamente en la dirección del esfuerzo en cuanto a la seguridad a través de asuntos que se discuten en los comités responsables de la seguridad. Las comisiones efectivas encargadas de la consulta de los trabajadores participan en la planeación, evaluación y revisión del desempeño así como en su papel más tradicional reactivo de considerar los resultados de la investigación de los accidentes, enfermedades e incidentes.

Los trabajadores de todos los niveles deben estar involucrados individualmente o por grupos en una variedad de actividades. Ellos pueden, por ejemplo, ayudar a establecer los estándares de desempeño en materia de seguridad radiológica, idear los sistemas operativos, procedimientos y reglas para el control del riesgo y ayudar en el monitoreo y auditoría. Los supervisores y otros con el conocimiento directo de cómo esta hecho el trabajo pueden hacer una contribución importante a la preparación de los procedimientos que funcionarán bien en la práctica. Otros ejemplos de una buena colaboración incluye la formación de los “grupos de solución de problemas” que

podrían ayudar resolver los problemas específicos, como pueden ser los asuntos relacionados con un accidente o incidente radiológico.

Existen también las posibilidades de promover el compromiso de los trabajadores cuando se emplean los círculos de seguridad (similares a los círculos de calidad) en donde es posible identificar y resolver problemas relacionados con riesgos radiológicos; además esto ayuda a fomentar el entusiasmo y la experiencia laboral.

Por otro lado, los Hospitales tienen que reconocer que al involucrar a los trabajadores inicialmente provoca ciertos conflictos y desacuerdos a corto plazo sobre la percepción de lo que es un trabajo saludable y seguro. Ellos tienen que anticipar este tipo de conflictos apoyando las actividades de los supervisores y encargados con los procedimientos que establecen cuándo y cómo consultar al especialista para resolver problemas y discusiones. Estos procedimientos también pueden resultar útiles para poder identificar cuando las investigaciones específicas son apropiadas y cualquier tipo de circunstancias en las cuales el trabajo tiene que suspenderse. La probabilidad de los conflictos aparentemente disminuye a largo plazo ya que los participantes desarrollan las relaciones laborales más constructivas y los establecen los objetivos compartidos.

III. Comunicación

La comunicación es un reto para los Hospitales en general y no nada más en los asuntos relacionados con la seguridad radiológica. En muchas ocasiones la comunicación es la única y la más importante área que requiere de una mejora. Los mensajes que desea comunicar la administración de un Hospital con frecuencia no son los que los trabajadores reciben.

La comunicación efectiva sobre todos los aspectos relacionados con la seguridad radiológica en un Hospital se debe basar en:

- a) La información que entra al Hospital
- b) La información que fluye a través del Hospital
- c) La información que sale del Hospital

Información que entra al Hospital

Las buenas fuentes de información relacionada con la seguridad radiológica son tan importantes para el desarrollo de una política de la seguridad radiológica y para un buen desempeño de un Hospital, como es la importancia de la información de las novedades en el campo de medicina para el desarrollo de un Hospital. En general, los Hospitales tienen que monitorear:

- el desarrollo legal para asegurar el cumplimiento de la ley;

- el desarrollo técnico relevante al control del riesgo radiológico; por ejemplo, Publicación 62 (ICRP, 1991c); 64 (ICRP, 1993a); 73 (ICRP, 1997a), entre otros;
- el desarrollo práctico en el área de la gestión de la seguridad radiológica; por ejemplo, documentos relacionados con reglamentos generales de seguridad radiológica que publican organismos nacionales e internacionales relacionadas con la gestión de seguridad radiológica.

Información que fluye a través del Hospital

Si la política de seguridad radiológica es comprendida e implementada consistentemente, entonces la siguiente información tiene que ser comunicada efectivamente:

- El significado y el propósito de la política de seguridad;
- La visión, los valores y las creencias que resalta la política;
- El compromiso de la administración del Hospital con su implementación;
- Los planes, estándares, procedimientos y sistemas en relación a la implementación y evaluación del desempeño;
- La información de los hechos para ayudar asegurar el involucramiento y compromiso de los trabajadores;
- Los comentarios e ideas para la mejora;
- Los reportes de desempeño;
- Lo aprendido de los accidentes y otros incidentes.

Para proveer el flujo adecuado de la información de arriba hacia abajo, de abajo hacia arriba y a través de todo el Hospital se pueden emplear tres métodos interrelacionados. Los tres métodos hacen uso de los medios formales y no formales de comunicación, sin embargo estos medios tienen que ser consistentes uno con otro. Los tres métodos son los siguientes:

- *Comportamiento visible*
- *Comunicación por escrito*
- *Discusión “cara a cara”*

Comportamiento visible

El director general del Hospital, así como el director de la DGS pueden dar señales poderosas sobre la importancia y trascendencia de los objetivos de la seguridad radiológica si se guían con ejemplos. De igual manera, ellos podrían hasta debilitar el desarrollo de una cultura positiva de seguridad radiológica con un comportamiento negativo. Los subordinados pronto reconocerán qué es lo que sus superiores consideran como importante y actuarán de acuerdo con ello. Los métodos exitosos que señalan el compromiso incluyen:

- Las visitas regulares que permiten inspeccionar el desempeño en cuanto a la seguridad radiológica. Estas inspecciones no tienen que ser detalladas, sin embargo es una manera de demostrar el compromiso y el interés de la administración del Hospital de notar los ejemplos obvios del desempeño bueno y malo. Estas visitas pueden estar planeadas de tal manera que cubran todos los sitios o áreas específicas del Hospital donde se maneja material radioactivo.
- Las reuniones con el DSR en conjunto con el cuerpo de consultores;
- La participación activa en el proceso de investigación de los accidentes, enfermedades o incidentes radiológicos.

Comunicación por escrito

Entre la información más importante que se tienen que comunicar por escrito están:

- Los reglamentos de la política de seguridad radiológica;
- Los reglamentos del Hospital que muestran los roles y las responsabilidades en cuanto a la seguridad radiológica (ver Figura 3.4);
- La documentación de los estándares del desempeño;
- La información y los procedimientos del soporte del Hospital y del control del riesgo radiológico (e.g. señalización de áreas)
- Los resultados significantes de la evaluación del riesgo radiológico.

La documentación relacionada con la seguridad radiológica tiene que ajustarse a las necesidades de un Hospital, a la vez cubriendo los requerimientos de la legislación específica. En general, el grado de explicitud tiene que ser proporcional al nivel de complejidad y de gravedad de los peligros y riesgos radiológicos. Mientras más grande es el riesgo radiológico más detalladas tienen que ser las instrucciones.

Las Hospitales pueden usar los letreros, carteles, trípticos o revistas para informar a sus trabajadores sobre ciertos asuntos en particular o sobre el progreso hacia el logro de los objetivos de la seguridad radiológica. Esta publicidad puede incluir los resultados de las inspecciones, cumplimiento de los estándares o los resultados de las investigaciones. El uso bien diseccionado de los letreros y carteles puede ayudar a lograr ciertas metas o mejorar el conocimiento del personal sobre ciertos riesgos radiológicos.

Discusión “cara a cara”

Las oportunidades que tienen los trabajadores de discutir asuntos “cara a cara” mejoran otras actividades de comunicación y les permiten hacer una contribución más personal en la seguridad radiológica. Las visitas y la asesoría formal son buenas opciones, sin embargo, existen otras como pueden ser:

- Las reuniones programadas (o pequeñas juntas de los grupos) para discutir aspectos relacionados con riesgos radiológicos. Por ejemplo, una reunión podría centrarse en el propósito de un grupo particular desempeñar ciertas tareas críticas de seguridad radiológica;
- Los asuntos relacionados con la seguridad radiológica en la agenda de todas las reuniones rutinarias de la administración (posiblemente, como punto número uno en la agenda)
- Las pláticas mensuales o semanales en las cuales los supervisores podrán discutir los asuntos relacionados con la seguridad radiológica con sus compañeros de trabajo recordándoles sobre los riesgos y las precauciones que se tienen que tener en áreas específicas dentro los Hospitales. Este tipo de pláticas también presentan las oportunidades para los trabajadores de hacer sus propias sugerencias (quizás en forma de “lluvia de ideas”) sobre la mejora en cuanto a la seguridad radiológica.

Información que sale del Hospital

Los Hospitales también tendrán que comunicar la información a otros hospitales u organizaciones, incluyendo:

- La información respecto a los accidentes y enfermedades a las autoridades correspondientes;
- La información sobre la gestión de residuos radioactivos producidos en el Hospital; así como las normas y estándares aplicables para tales casos.
- Los planes de emergencia. En los Hospitales que utilizan radiaciones ionizantes, el plan de emergencia establece un conjunto de acciones a desarrollar para el caso en que se produzca un incremento del riesgo radiológico para los trabajadores expuestos, los pacientes, o el público en general.

IV. Competencia

Si todos los trabajadores hacen sus contribuciones a la seguridad radiológica, debe de haber acuerdos correspondientes para asegurar que ellos sean competentes; no basta con una simple capacitación. La experiencia de la aplicación de las habilidades y conocimientos son otro ingrediente importante y esto se logra bajo una supervisión adecuada. Los directores generales de los Hospitales tienen que estar pendientes de la legislación relevante y cómo administrar efectivamente la seguridad radiológica. Todos los trabajadores deben de tener la capacidad de trabajar de una manera segura y saludable. Puede haber la necesidad de tener acuerdos con contratistas y por lo consiguiente la necesidad de examinar sus habilidades; además de acuerdos de cómo sería la colaboración con los trabajadores propios del Hospital. Los buenos acuerdos podrían incluir:

- Los procedimientos de la contratación y ubicación que deben asegurar que los trabajadores (incluyendo a los directores) tengan las habilidades físicas y mentales para hacer su trabajo o poder adquirirlas en la capacitación o como experiencia laboral. Quizás habrá la necesidad de un examen médico y las pruebas de la buena condición física o de las aptitudes y habilidades;

- Los sistemas capaces de identificar las necesidades de capacitación en materia de seguridad radiológica que surjan de la contratación, cambios del personal, de las instalaciones, sustancias, tecnologías, procesos o prácticas del trabajo;
- La necesidad de mantener o realzar las competencias de los trabajadores a través de un curso nuevo de capacitación (tienen que incluir trabajadores de los contratistas, los auto-empleados y los trabajadores temporales);
- Los sistemas y recursos para proporcionar la información, instructivos, capacitación y información de soporte en el esfuerzo de conocer estas necesidades;
- Los acuerdos para asegurar el cubrimiento adecuado del personal ausente, particularmente aquellos trabajadores con las responsabilidades críticas de seguridad radiológica.

Todo personal competente es capaz de hacer contribuciones mucho más efectivas a las cuestiones de la seguridad radiológica, ya sea de una manera individual o grupal. El personal debe participar activamente en las iniciativas de como pueden ser el proceso de identificación de peligros, resolución de problemas y la mejora de los estándares en relación a la seguridad radiológica. Sin embargo, aun cuando los directores, los supervisores y otros trabajadores pueden lograr altos niveles de competitividad, todavía habrá la necesidad de la asesoría profesional en materia de seguridad radiológica.

3.4 PLANEACIÓN E IMPLEMENTACIÓN

MENSAJES PRINCIPALES

La planeación es esencial para la implementación de las políticas de la seguridad radiológica. Un control adecuado de riesgos radiológicos se logra a través de la acción coordinada de todos los miembros del Hospital. Un sistema efectivo de planeación en el campo de la seguridad radiológica requiere que los Hospitales establezcan y operen con un sistema de gestión de seguridad radiológica el cual:

- Controle los riesgos radiológicos
- Responda a los cambios de los requerimientos
- Apoye a una cultura positiva de seguridad radiológica

Planeación en materia de seguridad radiológica

Los resultados de una gestión de seguridad radiológica habitualmente se expresan como una serie de consecuencias como puede ser la ausencia de las lesiones, enfermedades, incidentes o fatalidades. Sin embargo, en muchas ocasiones es cuestión de suerte el hecho de que si los eventos peligrosos causan o no las lesiones o pérdidas. Una planeación efectiva se preocupa por prevenir a través de la identificación, eliminación y control de

los peligros y riesgos radiológicos. Esto se vuelve particularmente muy importante cuando se trata de los efectos de riesgos radiológicos a la salud los cuales aparecen después de un prolongado periodo de latencia.

La prevención nada más puede lograrse como el resultado de un Sistema efectivo de Gestión Seguridad Radiológica (SGSR). La Fig. 3.6 muestra un Sistema de Gestión de Seguridad Radiológica (SGSR) con aplicación a Hospitales. El sistema consta de tres aspectos fundamentales:

- I. Precauciones en el lugar de trabajo
- II. Sistemas de Control de Riesgos Radiológicos (SCRR)
- III. Arreglos de la gestión de seguridad radiológica

A continuación se describen las características principales de cada una de ellas.

I. Precauciones en el lugar de trabajo - Hospitales

La meta principal del SGSR es el de prevenir las lesiones y las enfermedades relacionadas con las radiaciones ionizantes en un Hospital. Para lograr lo anterior se requiere establecer y mantener las precauciones necesarias en el lugar de trabajo para prevenir algún daño a las personas. Los riesgos radiológicos se crean en los procesos o actividades que se llevan a acabo en un Hospital; así como los recursos y la información que se usan para proveer los servicios (ver Fig. 3.6). Las “precauciones en el lugar de trabajo” (PLT) correspondientes a los riesgos y peligros radiológicos se requieren en cada etapa de la actividad de un Hospital. Por ejemplo, precauciones en el lugar de trabajo con los equipos de rayos X, instrucciones de seguridad radiológica y sistemas de trabajo, entre otros.

II. Sistemas de control de riesgos radiológicos (SCRR)

Los SCRR son la base para asegurar que se establezcan y se mantengan las precauciones necesarias en el lugar de trabajo en un Hospital. La parte central de la Fig. 3.6 muestra un rango típico de actividades para las cuales probablemente se requerirán los SCRRs. Debe mencionarse que la lista no menciona todas las actividades que se llevan a acabo en un Hospital; sin embargo, la lista da una idea del tipo de SCRR que se requieren en cada etapa.

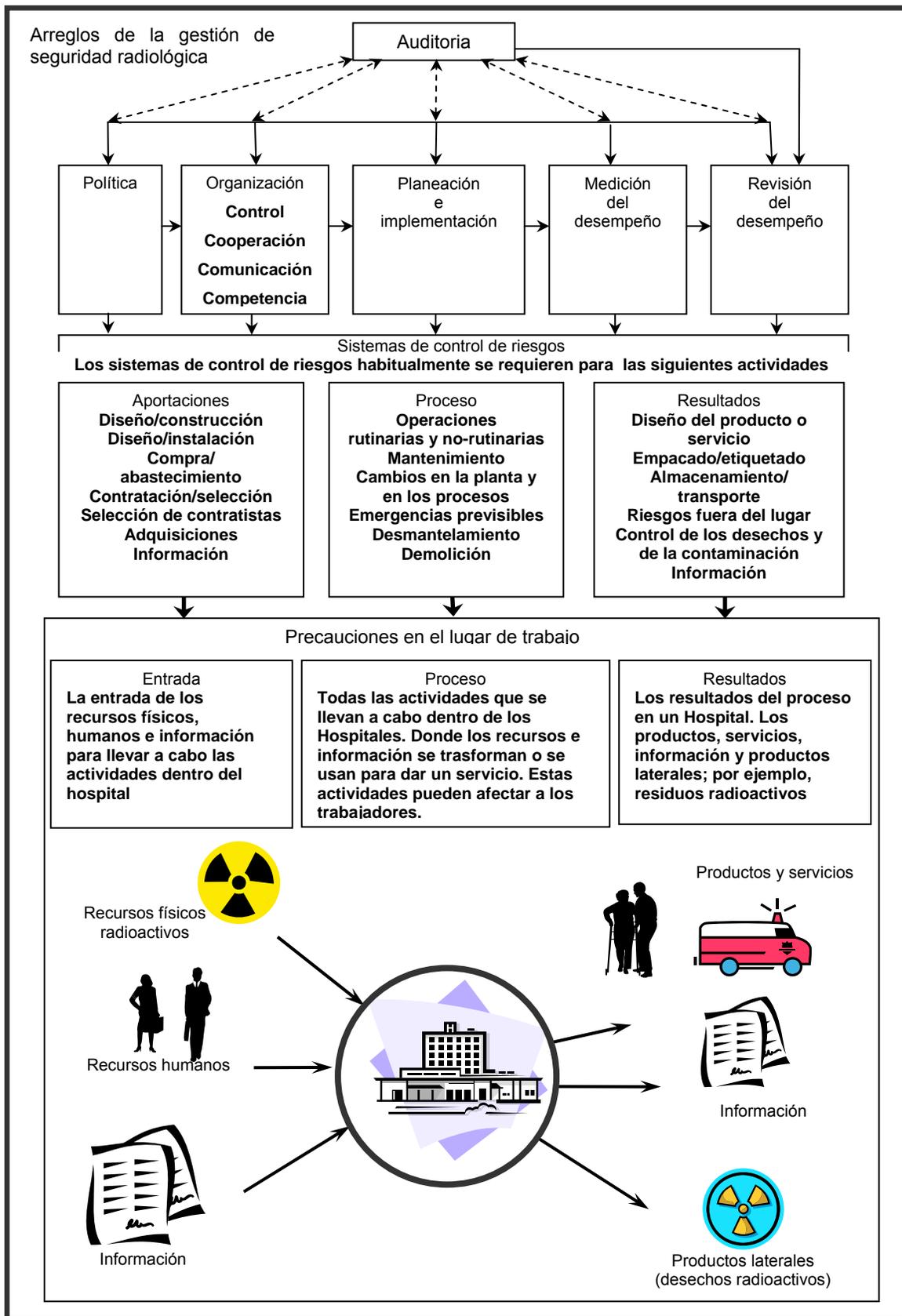


Figura 3.6 Sistema de gestión de seguridad radiológica (SGSR) con aplicación a Hospitales

Es decir,

a) En la etapa de entradas, la meta es minimizar los peligros y riesgos radiológicos que entran en un Hospital.

Por ejemplo,

- Diseño/construcción de instalaciones con riesgo radioactivo
- Contratación/selección de personal
- Selección de contratistas
- Adquisición de material radioactivo y equipos con riesgo radiológico
- Información

b) En la etapa del proceso, el enfoque es contener los riesgos radiológicos asociados con el proceso dentro del Hospital. Por ejemplo:

- Vigilancia del ambiente en el trabajo
 - Vigilancia y control de la radiación externa
 - Vigilancia y control de la contaminación
- Evaluación de la exposición del trabajador expuesto
 - Control dosimétrico personal
 - Superación de los límites de dosis
 - Utilización de los dosímetros
 - Historial dosimétrico
- Vigilancia Sanitaria
 - Justificación general de las exposiciones medicas
 - Protocolo médico
 - Vigilancia sanitaria de los trabajadores expuestos
 - Vigilancia sanitaria especial
 - Medidas adicionales
- Protección de personas en formación y estudiantes
- Gestión y control del material radioactivo
 - Adquisición
 - Recepción
 - Almacenamiento
 - Utilización
 - Transporte
- Protección radiológica del paciente
 - Justificación general de las exposiciones medicas
 - Optimización de la protección radiológica del paciente

- Protección radiológica del paciente en radiodiagnóstico
 - Protección radiológica en medicina nuclear
 - Protección radiológica del paciente en radioterapia
 - Vigilancia del público
 - Protección de los miembros del público (por ejemplo contra una exposición externa o contaminación por radionucleidos)
 - Protección de familiares, personas próximas y voluntarios que colaboran en la asistencia y bienestar del paciente
 - Sistema de vigilancia para evaluar y controlar la dosis del público
 - Emergencias previsibles
 - Medicina nuclear y laboratorios
 - Radiodiagnóstico
 - Radioterapia
- c) En la etapa de los resultados, los SCRR tienen que prevenir la exportación de los riesgos afuera del Hospital, o en los servicios o desechos generados por el mismo. Por ejemplo el control de los residuos radioactivos:
- Fuentes radioactivas fuera de uso (retirada de las fuentes radioactivas por el suministrador o por una empresa autorizada)
 - Materiales residuales sólidos con contenido radioactivo
 - Residuos radioactivos líquidos
 - Información (registros, archivos, informes)

Como se mencionó anteriormente las actividades listadas en la Fig. 3.6 son típicas para Hospitales, sin embargo, no es una lista definitiva. La naturaleza e importancia relativa de los SCRR variarán de acuerdo con la naturaleza y perfil del riesgo de un Hospital, y con las precauciones en el lugar de trabajo.

En resumen, los Hospitales necesitan que los SCRR sean apropiados a los peligros provenientes de sus actividades y además tienen que ser las suficientes para cubrir todos los peligros radiológicos. Además, el diseño, la confiabilidad y complejidad de cada sistema de control de riesgo necesita ser proporcional a los peligros y riesgos radiológicos particulares.

III. Arreglos de la gestión de seguridad radiológica

El conjunto de los procesos de la gestión tienen que organizar, planear, controlar y monitorear el diseño e implementación de los SCRR se conocen aquí como “arreglos de la gestión” (AG).

Estableciendo los objetivos del SGSR

Los objetivos de seguridad radiológica tienen que ser específicos, medibles, viables y establecidos con una escala adecuada del tiempo de cumplimiento. Hay que establecer los objetivos a corto plazo así como a largo plazo y decidir sobre su orden de prioridad de acuerdo con las necesidades del Hospital. Los objetivos a diferentes niveles, o en diferentes partes, de un Hospital tienen que estar coordinados para que puedan apoyar los objetivos de la política general del Hospital. Si por ejemplo se hace un diagnóstico inicial a un sistema de gestión de seguridad radiológica existente y se revela un sistema mal desarrollado, el énfasis inicial probablemente se hará en la capacitación del personal para poder establecer un proceso mejorado de planeación en materia de seguridad como la base del desarrollo futuro. Las decisiones iniciales sobre que si las precauciones en el lugar de trabajo son adecuadas y el cumplimiento con la ley también son necesarios.

Concepción de las precauciones en el lugar de trabajo (PLT)

El control de riesgos radiológicos es algo necesario para asegurar el cumplimiento con los requerimientos legales relevantes. Existen tres etapas básicas para establecimiento de las PLT:

- I. Identificación de peligros radiológicos - identificar los peligros que pueden causar daño;
- II. Evaluación del riesgo radiológico – evaluar los riesgos radiológicos que pueden surgir de los peligros;
- III. Control de los riesgos radiológicos – decidir sobre las medidas adecuadas para eliminar o controlar los riesgos radiológicos.

A continuación se describe brevemente en qué consiste cada una de las etapas para el establecimiento de las precauciones en el lugar de trabajo.

I. Identificación de los peligros

Esta etapa consiste en buscar e identificar los peligros/riesgos radiológicos. Por ejemplo, los siguientes tipos de riesgos radiológicos pueden presentarse en el caso de Hospitales.

- *Irradiación externa.*
- *Contaminación radioactiva:* puede considerarse como la presencia indeseable de radionucleidos (radioisótopo, elemento radioactivo) en un materia, una superficie o en una persona. En el caso particular de un ser humano, esta contaminación puede ser externa o interna. Se considera una contaminación externa o cutánea cuando los radionucleidos se han depositado en la superficie exterior. Por otro lado una contaminación interna, se produce cuando los radionucleidos han penetrado en el organismo por cualquiera de las siguientes vías: inhalación, ingestión, percutánea, entre otras.

A continuación se resumen los riesgos que se pueden presentar y las fuentes de radiación en las diferentes instalaciones o unidades de servicio de un Hospital.

Radiodiagnóstico

Radiodiagnóstico se refiere a la especialidad médica que utiliza los rayos X con fines diagnósticos, por ejemplo radiología convencional, tomografía axial computarizada, angio-radiología digital, entre otros. En las instalaciones de radiodiagnóstico se puede considerar como el único riesgo posible es el de irradiación externa, el cual sólo se produce cuando está funcionando el tubo de rayos X. Por lo consiguiente, son fuentes de radiación todos los equipos dotados de tubo de rayos X cuando éste está en funcionamiento. Por ejemplo en los siguientes casos:

- Radiografía convencional
- Radiografía y fluoroscopia
- Radiografía con equipos móviles
- Radiografía y fluoroscopia con equipos móviles
- Radiografía intervencionista
- Radiografía dental
- Mamografía
- Densitometría ósea
- Litotricia con localización por rayos X
- T.C.
- Otros

Radioterapia

Radioterapia se considera como la especialidad médica que utiliza las radiaciones ionizantes (rayos X, radiación gamma, electrones) con fines terapéuticos. En las instalaciones de radioterapia, el riesgo más habitual es el de irradiación externa. Este puede afectar parcialmente o bien la totalidad del organismo. En el caso de radioterapia metabólica, existe además el riesgo de contaminación. Algunos ejemplos de las fuentes de radiación son:

- Equipos de rayos X para terapia
- Equipos de rayos X para simulación de tratamiento
- Equipos de telecobaltoterapia
- Irradiadores isotópicos de muestras biológicas
- Aceleradores de electrones
- Emisores beta y gamma usados en braquiterapia, que pueden encontrarse en: gammateca, radioquirófano, salas de tratamiento y área de hospitalización de braquiterapia.

Las fuentes relevantes de información son:

- La legislación, estándares relevantes nacionales e internacionales publicados por los principales organismos reguladores (NOM, IAEA, ICRP, entre otros, ver sección de referencias para más detalles)
- Información sobre las actividades dentro de las unidades médicas

- Las guías de las industrias y de los sindicatos;
- El conocimiento y la experiencia personal del personal de la DSR y de los trabajadores;
- Los datos de los accidentes, enfermedades e incidentes de los hospitales y de otras industrias relacionadas con radiación como, por ejemplo, la industria nuclear.
- Los consejos y opiniones de los expertos así como la investigación relevante.

Una evaluación crítica de todas las actividades rutinarias y no rutinarias del Hospital se tienen que realizar. El círculo de personas expuestas incluye no nada más a los trabajadores sino también a los pacientes y miembros del público en general, las contratistas. Los trabajadores y los representantes de seguridad radiológica pueden hacer una contribución útil en la identificación de peligros. A continuación se resume una clasificación general del personal en instalaciones con riesgo radiológico.

Clasificación general del personal en instalaciones con riesgo radiológico

Las personas que trabajan en las instalaciones con riesgo radiológico se pueden clasificar, en función de las condiciones en que realizan su trabajo, en los siguientes tipos:

- a) Trabajadores expuestos
 - Categoría-I
 - Categoría-II
- b) Miembros del público

Trabajadores expuestos

Se consideran como trabajadores expuestos aquellas personas que, por las circunstancias en que se desarrolla su trabajo, ya sea de modo habitual, o de modo ocasional, están sometidos a un riesgo de exposición a las radiaciones ionizantes susceptible de entrañar dosis superiores a alguno de los límites de dosis para miembros del público. Los estudiantes y personas en formación, mayores de 18 años, que, durante sus estudios, se encuentren expuestos a radiaciones ionizantes, se consideran incluidos en esta categoría.

Los trabajadores expuestos se clasifican en dos categorías: Categoría I y II.

Categoría I

A esta categoría pertenecen los que puedan recibir una dosis efectiva superior a 6 mSv por año oficial, o una dosis equivalente superior a 3/10 de los límites de dosis equivalente para el cristalino, la piel y las extremidades.

La condición de trabajador expuesto de Categoría-I exige obligatoriamente:

- Superar el reconocimiento médico de ingreso y los reconocimientos periódicos
- Haber recibido formación de protección radiológica

- Utilizar obligatoriamente dosímetro individual que mida la dosis externa, representativa de la totalidad del organismo siempre que realicen trabajos que supongan riesgos de exposición externa.
- Utilizar dosímetros adecuados en las partes potencialmente más afectadas, en el caso de riesgo de exposición parcial o no homogénea del organismo.
- Someterse a los controles dosimétricos pertinentes, en caso de existir riesgo de contaminación interna.

Categoría II

Pertenecen a esta categoría aquellos que es muy improbable que reciban dosis efectivas superiores a 6 mSV por año, o a 3/10 de los límites de dosis equivalente para el cristalino, la piel y las extremidades.

La condición de trabajador expuesto de categoría-II exige obligatoriamente:

- Superar el reconocimiento médico establecido
- Haber recibido formación en protección radiológica
- Estar sometido a un sistema de vigilancia dosimétrica que garantice que las dosis recibidas son compatibles con su clasificación en categoría II.

A cada trabajador expuesto le será abierto:

- Un protocolo médico individual, conteniendo los resultados del examen de salud previo a su incorporación a la instalación y los exámenes médicos anuales y ocasionales
- Un historial dosimétrico individual que, en el caso de personas de categoría A, debe contener como mínimo las dosis mensuales, las dosis acumuladas en cada año oficial y las dosis acumuladas durante cada periodo de 5 años oficiales consecutivos, y en el caso de personas de categoría B, las dosis anuales determinadas, o estimadas, a partir de los datos de la vigilancia radiológica de zonas.

Límites de dosis

Los límites de dosis son valores que no deben ser sobrepasados, y se aplican a la suma de las dosis recibidas por exposición externa durante el periodo considerado, y de las dosis comprometidas a 50 años (hasta 70 años en el caso de niños) a causa de incorporaciones de radionucleidos, durante el mismo periodo.

Límites de dosis para trabajadores expuestos

Los límites de dosis para los trabajadores expuestos son los siguientes:

- a) el límite de dosis efectiva será de 100 mSv durante todo periodo de 5 años oficiales consecutivos, sujeto a una dosis efectiva máxima de 50 mSv en cualquier año oficial.
- b) Sin perjuicio de lo indicado anteriormente
 - El límite de dosis equivalente para el cristalino es de 150 mSv por año oficial

- El límite de dosis equivalente para la piel es de 500 mSv por año oficial. Dicho límite se aplica a la dosis promediada sobre cualquier superficie de un centímetro cuadrado, con independencia de la zona expuesta
- El límite de dosis equivalente para las manos, antebrazos, pies y tobillos es de 500 mSv por año oficial.

Protección especial durante el embarazo y la lactancia

Tan pronto como una mujer embarazada informe de su estado, por escrito, al titular o a la DSR, la protección del feto debe ser comparable a la de los miembros del público y, por ello, las condiciones de trabajo deberán ser tales que las dosis al feto desde la notificación del embarazo al final de la gestación no excedan de 1 mSv. Este límite de dosis se aplica exclusivamente al feto y no es directamente comparable con la dosis registrada en el dosímetro personal de la trabajadora embarazada. Por ello, a efectos prácticos y para exposición a radiación externa, se puede considerar que 1 mSv al feto es comparable a una dosis de 2 mSv en la superficie del abdomen.

Un ejemplo de evaluación del riesgo. La declaración de embarazo no implica que las mujeres gestantes tengan que evitar el trabajo en presencia de radiaciones o que deba prohibirse su acceso a zonas radiológicas. No obstante, las condiciones en que se realiza ese trabajo deben ser cuidadosamente evaluadas de modo que se asegure la no superación del citado límite (ALARA). En general, como recomendación se recomendará destinar a la mujer gestante a puestos con exposición mínima, compatible con la legislación.

Exposiciones especialmente autorizadas

Dichas exposiciones estarán autorizadas además deberán programarse de modo que se cumplan las siguientes condiciones:

- Solo serán admitidos los trabajadores expuestos pertenecientes a la categoría A.
- No se autoriza la participación en exposiciones especialmente autorizadas a:
 - a) las mujeres embarazadas y aquellas en periodo de lactancia ya que pueden sufrir una contaminación corporal;
 - b) los estudiantes o personas en formación
- El titular de la práctica deberá justificar con antelación dichas exposiciones e informar razonablemente a los trabajadores involucrados, a sus representantes y a la DSR.
- Antes de participar en una exposición especialmente autorizada, los trabajadores deberán recibir la información adecuada sobre los riesgos que implique la operación y las precauciones que deberán adoptarse durante la misma. La participación de dichos trabajadores tendrá carácter voluntario.

Límites de dosis para personas en formación y estudiantes

Los límites de dosis para personas en formación y estudiantes que deban manejar fuentes de radiación por razón de sus estudios serán los siguientes:

- Para estudiantes mayores de 18 años. Los límites son los mismos que para los trabajadores expuestos
- Para estudiantes entre 16 y 18 años:
 - El límite de dosis efectiva es de 6mSv por año oficial
 - Los límites de dosis equivalente para cristalino, piel, manos, antebrazos y pies son tres décimos de los límites establecidos para trabajadores expuestos.
- Para estudiantes menores de 16 años. Los límites son los mismos que para los miembros del público.

Límites de dosis para los miembros del público

Los límites de dosis para los miembros del público son los siguientes:

- El límite de dosis efectiva será de 1 mSv por año oficial. No obstante, en circunstancias especiales, la DSR (o más bien la ININ o equivalente) podrá autorizar un valor de dosis efectiva más elevado en un único año oficial, siempre que el promedio en cinco años oficiales consecutivos no sobrepase 1 mSv por año oficial (La circunstancia especial se aplica a los casos de alta radiología de pacientes sometidos a tratamientos metabólicos. A propuesta de la DSR el ININ puede autorizar un valor superior de tasa de dosis residual del paciente en el momento del alta de manera que haga factible la superación de los límites de dosis efectiva del público a los familiares directos por beneficio del paciente, a propuesta de la DSR respectivo.)
- Sin perjuicio de lo indicado en el apartado anterior:
 - El límite de dosis equivalente para el cristalino es de 15 mSv por año oficial
 - El límite de dosis equivalente para la piel es de 50 mSv por año oficial. Dicho límite se aplica a la dosis promedia sobre cualquier superficie de un centímetro cuadrado, con independencia de la zona expuesta.
 - El límite de dosis equivalente para las manos, antebrazos, pies y tobillos es de 50 mSv por año oficial.

En los casos más sencillos, los peligros pueden identificarse observando y comparando las circunstancias con la información relevante. En los casos de alto riesgo será necesario adoptar técnicas más especializadas para la identificación de los peligros. Es recomendable la asesoría de un especialista en el área para seleccionar y aplicar el método más adecuado.

II. Evaluación del riesgo

La evaluación de riesgos ayuda a determinar las precauciones del lugar de trabajo y puede ser cualitativo o cuantitativo. En los casos más simples, es posible hacer la referencia a los límites legales específicos. En las situaciones más complejas, quizás habrá la necesidad de un juicio cualitativo dentro de un esquema establecido por los estándares y guías legales.

Para evaluar los riesgos, se necesita un conocimiento similar de las actividades y las prácticas del trabajo ya que conducen a la identificación de los riesgos. Otra vez, el conocimiento de los trabajadores y de los representantes de la seguridad radiológica puede resultar muy valioso. La evaluación del riesgo tiene que realizarse por personal altamente competente en el área (ver sección 3.1.2 - Control). La asesoría profesional en materia de seguridad radiológica en algunos casos es necesaria, especialmente para la elección de las técnicas cuantitativas del análisis de riesgo apropiadas y para la interpretación de los resultados.

III. Control del riesgo

Una vez que los riesgos fueron analizados y evaluados es necesario tomar la decisión sobre las precauciones del lugar de trabajo (PLT). Todas las decisiones finales sobre los métodos del control de riesgos tienen que tomar en cuenta los requerimientos legales relevantes que establecen los niveles mínimos de la prevención de los riesgos o control de los riesgos. Cuando los requerimientos legales exigen una evaluación de costos, se requerirá la información sobre los costos relativos, la efectividad y la confiabilidad de las diferentes medidas de control para tomar la decisión sobre los niveles aceptables de control.

Límites de Dosis y el principio ALARA

El principio de optimización involucrado en el uso del sistema de limitación de dosis, considera que las dosis recibidas por cualquier trabajador involucrado en el uso de materiales radiactivos deben mantenerse *Tan Bajas Como Razonablemente Sea Posible* (ALARA), tomando en cuenta los factores económicos y sociales asociados. El principio ALARA es ampliamente recomendado por la ICRP (Internacional Comisión Radiation Protection). Sin embargo, no tiene un requerimiento legal como el caso del principio ALARP, por ejemplo, en el Reino Unido. En general el parámetro fundamental para verificar la efectividad de la implantación del principio de optimización en cualquier práctica es el ahorro de dosis. Esta se da como resultado de la adopción de métodos para su reducción a partir de la evaluación de las diferentes opciones, mediante el análisis costo-beneficio y el uso de herramientas de toma de decisiones, aplicados en las áreas de debilidad identificadas a través de las estadísticas de dosis. Por ejemplo, las Tablas 2.3 y 2.4 muestran los límites anuales de dosis para los trabajadores expuestos y para el público en general, respectivamente.

Las decisiones sobre la confiabilidad de los controles pueden guiarse por las referencias de la jerarquía preferible de control. Por ejemplo, a continuación se presenta un resumen de la jerarquía preferible de los principios del control de riesgos:

- Eliminar los riesgos - sustituyendo lo peligroso por algo inherentemente menos peligroso, por ejemplo:
 - Usar las sustancias menos peligrosas;
 - Sustituir el equipo por uno más seguro que hace el mismo producto;

- Evitar el uso de ciertos procesos, por ejemplo, comprando con subcontratistas.
- Combatir los riesgos en sus fuentes a través del control de la ingeniería y asignando cierta prioridad a las medidas colectivas de protección, por ejemplo:
 - Separar al operador del riesgo de exposición de una sustancia radioactiva, peligrosa aislando el proceso;
 - Proteger partes peligrosas del equipo con una cubierta;
 - Diseñar la maquinaria del proceso y las actividades del trabajo de la manera que se minimice la liberación, o se supriman o se contengan los peligros transmitidos por el aire;
 - Diseñar la maquinaria que se opere de la manera remota y en la cual los materiales se introduzcan de forma automática de esta manera separando al operador de las áreas peligrosas.
- Minimizar los riesgos a través:
 - Del diseño de los sistemas adecuados del trabajo;
 - Del uso del vestuario y equipo de protección personal adecuados; esto se usará nada más como una última medida.

La jerarquía refleja el hecho de que eliminación o control del riesgo a través del uso de los controles y protección de ingeniería física es más confiable que confiar nada más en personas.

Si existe un intervalo de precauciones posibles entonces se requiere evaluar los costos relativos contra el grado de control que provee cada uno a corto y a largo plazos. Algunas medidas de control, como pueden ser la eliminación del riesgo eligiendo una sustancia o un equipo más seguros, proporcionan un alto grado de control y confiabilidad. Sin embargo, la protección física, por ejemplo, protección de un equipo o aislamiento de un proceso peligroso, hay que mantenerla y esto implica un costo extra a largo plazo.

Concepción de los SCRR

El propósito de los SCRR es asegurar que las precauciones adecuadas en el lugar de trabajo se implementen y se mantengan. Se ha visto en la práctica que frecuentemente los Hospitales no ponen suficiente énfasis en estos aspectos en su sistema de gestión de seguridad radiológica. Los SCRR tienen que reflejar el “perfil de peligro” del Hospital; mientras mayor es el peligro o el riesgo, más robustos y confiables tienen que ser los SCRR. La planeación de los SCRR requiere tomar la decisión sobre que tipo de los sistemas de control se requieren, y sobre su diseño. Los elementos básicos de la política, organización, implementación, medición, revisión y auditoría pueden emplearse como un esquema para diseño de los SCRR.

Concepción de los arreglos de gestión de la seguridad radiológica (AGSR)

El alcance y la complejidad de los arreglos de la gestión de seguridad radiológica tienen que reflejar las necesidades del Hospital y el “perfil de peligros”. Lo que es apropiado para un Hospital de medicina nuclear no será apropiado, por ejemplo, para un departamento de Imagenología, sin embargo, en ambos casos existe la necesidad de la actividad apropiada a través de todos los seis elementos principales del esquema (política, organización, planeación e implementación, medición del desempeño, revisión y auditoría).

Establecimiento de los estándares del desempeño

Los estándares del desempeño son necesarios para poder identificar la contribución que los trabajadores hacen en la operación del SGSR.

Los estándares para el personal de todos los niveles son necesarios para asegurar:

- El diseño, desarrollo e instalación efectivos del SGSR;
- La recompensa positiva al personal como reconocimiento de su esfuerzo en la prevención de los accidentes y enfermedades.

Los estándares del desempeño son la base de una cultura positiva de seguridad radiológica. En la etapa de la planeación (ver sección 3.3) es necesario tomar las decisiones sobre los estándares apropiados de acuerdo con las necesidades del Hospital y del SGSR. En general, los estándares del desempeño tienen que cubrir lo siguiente:

- La formulación y el desarrollo de la política de seguridad radiológica;
- Los métodos de reportar el cumplimiento;
- Los comités de seguridad radiológica y otras reuniones similares de asesoría;
- El involucramiento del personal en la evaluación de riesgos;
- La recolección y diseminación de la información de las fuentes externas;
- El involucramiento de los directores y encargados de las unidades en los recorridos de seguridad y en la investigación de accidentes e incidentes;
- Preparación de la documentación, los estándares del desempeño, reglas y procedimientos relacionados con todos los aspectos de seguridad radiológica;
- Los planes y los objetivos en materia de seguridad radiológica
- El proceso de evaluación de riesgos radiológicos;
- La implementación de los SCRR y las precauciones en el lugar de trabajo;
- Los arreglos del monitoreo activo incluyendo las inspecciones;
- Los sistemas del reporte e investigación de los accidentes e incidentes;
- La auditoría y revisión.

Selección del orden de la prioridad de las actividades de la seguridad radiológica

Los sistemas de evaluación de los peligros y riesgos pueden contribuir a la toma de decisiones acerca de las prioridades. Además proporcionan una ayuda útil para responder a las preguntas que surjan en las diferentes etapas de planeación e implementación del SGSR. Por ejemplo, preguntas sobre la importancia y urgencia de diferentes aspectos como:

- Determinación del orden de prioridad de los objetivos de la seguridad radiológica;
- Decisión sobre el “perfil de peligro” del Hospital para revelar que áreas requieren SCRR más robustos y confiables;
- Decisión sobre las prioridades del monitoreo;
- Establecimiento de las prioridades de la capacitación y la mejora del nivel de competitividad;
- Acción inmediata, en el caso necesario, para prevenir las lesiones después de un accidente;
- Acción inmediata, en el caso necesario, para prevenir las lesiones después de un incidente o después de descubrimiento de un peligro;
- Cuando se están revisando los resultados de las actividades de monitoreo y los resultados de la investigación de una exposición a radiación, enfermedad o un accidente;
- Decisión sobre la ampliación de los recursos necesarios y la velocidad de la respuesta a un accidente o incidente particular.

Implementación del SGSR

Si las precauciones en el lugar de trabajo (PLT), los SCRR y los arreglos de la gestión están bien diseñados y reconocen la práctica existente del Hospital, las capacidades y debilidades humanas, entonces su implementación será más fácil. La documentación adecuada también puede contribuir a la aplicación consistente.

Todos los componentes del SGSR tienen que inspeccionarse, mantenerse y monitorearse adecuadamente para asegurar su operación continua y efectiva. Las evaluaciones del riesgo y las precauciones en el lugar del trabajo tienen que revisarse de acuerdo con los cambios y nuevos desarrollos tecnológicos. El tipo, la frecuencia y la profundidad del mantenimiento tienen que reflejar la extensión y la naturaleza de los peligros y riesgos revelados en la evaluación de los riesgos radiológicos. El balance de los recursos designados a varios SCRR también reflejará el “perfil del peligro” del Hospital.

Además después de un accidente o de un caso de una enfermedad relacionada con riesgos radiológicos, muchos Hospitales llegan a la conclusión que sus sistemas, reglas, procedimientos e instrucciones que pudieran haber prevenido el evento ya existían; sin embargo no se cumplieron. Existen muchas razones porque este tipo de “violaciones” tienen lugar. Las causas principales frecuentemente se deben a que los sistemas se diseñaron sin tomar en cuenta los factores humanos. Los directores generales de los Hospitales tienen que tomar las medidas positivas para tratar asuntos relacionados con los factores humanos y para alentar un comportamiento seguro.

3.5 MEDICIÓN DEL DESEMPEÑO

MENSAJES PRINCIPALES

La medición es esencial para el mantenimiento y la mejora del desempeño en cuanto a la seguridad radiológica. Existen dos maneras de generar la información sobre el desempeño:

- Los sistemas activos que monitorean el logro de los planes y el alcance del cumplimiento con los estándares;
- Los sistemas reactivos que monitorean los accidentes, las enfermedades y los incidentes
- Los procedimientos efectivos son necesarios para poder capturar ambos tipos de información.

Los Hospitales necesitan medir lo que hacen para la implementación de sus políticas de seguridad radiológica; necesitan evaluar que tan efectivos son sus sistemas para controlar los riesgos radiológicos, y además el nivel de “cultura de seguridad”. Un índice bajo de accidentes, inclusive en un periodo de años, no es una garantía de que los riesgos radiológicos son controlados efectivamente y que no conducirán a una lesión, una enfermedad en el futuro. Esto es particularmente cierto para los Hospitales donde hay una baja probabilidad de que los accidentes ocurran. Pero se debe recordar que los riesgos siempre van a estar latentes. En conclusión, un antecedente histórico podría ser un indicador no confiable o hasta engañoso del desempeño de un Hospital en cuanto a la seguridad radiológica.

Así como el proceso de planeación descrito en la sección 3.3, el monitoreo del desempeño de la seguridad radiológica según los planes y los estándares predeterminados tiene que ser la responsabilidad de los Directores Generales de los Hospitales. Es importante señalar también que el monitoreo refuerza el compromiso de la administración del Hospital con el cumplimiento de los objetivos de seguridad radiológica planteados. Además el proceso de monitoreo ayuda en el proceso de desarrollo de una cultura positiva de la seguridad radiológica. En general, se requieren dos tipos de sistemas:

- I. Los *sistemas activos* que monitorean el diseño, el desarrollo, instalación y operación de los acuerdos de la gestión, los SCRR y las precauciones en el lugar de trabajo (PLT);
- II. Los *sistemas reactivos* que monitorean los accidentes, enfermedades, incidentes y otras evidencias del desempeño deficiente en cuanto a la seguridad radiológica.

A continuación se describe cada uno de los sistemas

I. *Sistemas activos de monitoreo*

El monitoreo activo proporciona a un Hospital la retroalimentación sobre su desempeño antes de un accidente, un incidente o una enfermedad. Esto incluye el monitoreo del logro de los planes y objetivos específicos planteados, la operación del SGSR y el cumplimiento con los estándares del desempeño. Esto provee una base firme para la toma de decisiones sobre las mejoras del control del riesgo y del SGSR.

Los Hospitales necesitan decidir cómo asignar las responsabilidades para el monitoreo a los diferentes niveles en la cadena de administración y qué grado de resolución es apropiado. Las decisiones van a reflejar la estructura de la organización del Hospital (Ver Fig. 3.4). A los directores hay que otorgar la responsabilidad del monitoreo del logro de los objetivos y el cumplimiento con los estándares de los cuales ellos y sus subordinados son responsables. Los encargados de las unidades y supervisores responsables de la implementación directa de los estándares tienen que monitorear el cumplimiento a detalle.

Las diferentes formas y niveles del monitoreo activo incluyen:

- Los procedimientos rutinarios para monitoreo de los objetivos específicos, por ejemplo, los reportes o rendimientos trimestrales o mensuales;
- La revisión periódica de los documentos para verificar que los sistemas relacionados con la promoción de la cultura de seguridad radiológica cumplen su función.
- La inspección sistemática de la instalación y del equipo por los supervisores, el personal del mantenimiento, la DSR, los representantes de seguridad radiológica u otros empleados para asegurar la operación efectiva y continua de las precauciones en el lugar de trabajo (PLT);
- El monitoreo del medioambiente y la vigilancia médica para verificar la efectividad de las medidas del control de la salud y detectar los síntomas tempranos del daño a la salud;
- La evaluación de los SCRR, los procedimientos y las reglas asociadas particularmente aquellos directamente relacionados con el control de riesgos radiológicos.
- La operación de los sistemas implementados de auditoría;
- La consideración de los reportes regulares sobre el desempeño en cuanto a la seguridad radiológica por la junta directiva del Hospital.

La clave para el monitoreo activo efectivo es la calidad de los planes, los estándares del desempeño y las especificaciones que se han establecido; estos proveen el criterio contra el cual el desempeño se mide.

Como se mencionó anteriormente, el monitoreo activo tiene que ser proporcional al “perfil de peligro” del Hospital. La actividad se tiene que concentrar en las áreas donde es más probable que se produzca un beneficio más grande, lo que conducirá a un mayor control de los riesgos radiológicos.

También puede resultar útil complementar el monitoreo regular con:

- La observación al azar incluyendo las “giras de seguridad” de los directores generales (ver la sección de “Comunicación” en la sección 3.2);
- Las inspecciones periódicas de las opiniones de los empleados sobre los aspectos más importantes en relación a la seguridad radiológica.
- Las inspecciones por los representantes de la seguridad u otros representantes o bien cualquier empleado.

II. Sistemas reactivos del monitoreo

Los *sistemas reactivos*, por definición, tienen lugar después del evento e incluyen la identificación y el reporte de:

- Las lesiones y los casos de enfermedades (incluyendo el monitoreo de los anotaciones de la ausencia de enfermedades);
- Otras pérdidas, como pueden ser el daño a la propiedad, instalaciones, equipos, entre otros;
- Los incidentes, incluyendo aquellos con el potencial de causar la lesión, enfermedad o pérdida;
- Las debilidades u las omisiones en los estándares del desempeño.

Cada uno de los puntos mencionados provee las oportunidades para un Hospital de verificar el desempeño, aprender de los errores, y mejorar el SGSR. En ciertos casos habrá la necesidad de mandar un reporte de las circunstancias y causas a las autoridades ejecutivas apropiadas. Los representantes de la seguridad citados legalmente tienen derecho a investigar.

Los eventos también contribuyen a la “memoria corporativa”. La información recolectada de las investigaciones es una manera útil de reforzar los mensajes más importantes de la seguridad radiológica. Las características o tendencias comunes se pueden discutir con los trabajadores, en particular con los representantes de la seguridad.

La recolección de la información sobre las lesiones y las enfermedades serias no debe presentar grandes dificultades para los Hospitales, sin embargo, el aprendizaje de las lesiones menores, de las otras pérdidas, de los incidentes y de los peligros puede resultar un reto mayor. El reporte preciso puede promoverse a través de:

- Una capacitación que aclare los objetivos y los razones fundamentales para la identificación de estos eventos;
- Una cultura que enfatice un enfoque observador, responsable y la importancia de tener los sistemas de control en su lugar antes de que el daño ocurra; y
- Una comunicación abierta y honesta en un ambiente justo, en vez de una tendencia de simplemente asignar “la culpa”.

3.6 AUDITORÍA Y REVISIÓN DEL DESEMPEÑO

MENSAJES PRINCIPALES

Los Hospitales pueden mantener y mejorar su habilidad de gestionar los riesgos radiológicos aprendiendo de la experiencia a través del uso de las auditorías y revisión del desempeño. Esta sección:

- define la naturaleza y el propósito de una auditoría de la seguridad radiológica
- examina como se puede revisar el desempeño en materia de seguridad radiológica

La *auditoría* y la *revisión* del desempeño son pasos finales del ciclo del control de la gestión de la seguridad radiológica. Estos permiten a un Hospital reinformar, mantener y desarrollar sus habilidades de reducir los riesgos radiológicos en toda su extensión y asegurar la efectividad continua del SGSR.

Auditoría del desempeño

Los Hospitales con frecuencia se someten a la auditoría, por ejemplo, de las finanzas, del medio ambiente y de la calidad. Esta disciplina de la empresa puede también aplicarse a las cuestiones de la seguridad radiológica. Existen las definiciones legales de la auditoría en las regulaciones que tienen que ver con los requerimientos del caso de la seguridad radiológica; sin embargo, aquí usaremos la siguiente definición:

Auditoría es el proceso estructurado de recolección de la información independiente sobre la eficiencia, efectividad y la confiabilidad del SGSR total, y de la elaboración de los planes para la acción correctiva. (HSG65, 1997)

Todos los sistemas de control tienden a deteriorarse al pasar el tiempo o se vuelven obsoletos como el resultado de cambios. La auditoría apoya al monitoreo porque proporciona a los directores la información sobre la efectividad de la implementación de los planes y los componentes del SGSR. La auditoría también tiene que proporcionar la verificación de la conveniencia y efectividad de los acuerdos de la gestión y de los SCRR.

La auditoría es un elemento esencial en el SGSR y no es un sustituto de otras partes esenciales del sistema.

En la sección 3.3 (ver también la Fig. 3.6) se describieron los tres componentes de un SGSR. A través de tiempo, la auditoría tiene que emplearse para verificar la conveniencia de cada uno de estos elementos. Para los Hospitales que cuentan con varias sucursales, la auditoría tiene que incluir los acuerdos que unen el centro con diferentes unidades.

Las metas de la auditoría tienen que confirmar que:

- Los acuerdos de la gestión de seguridad sean adecuados y estén en su lugar;
- Los SCRR existan, estén implementados, y sean consistentes con el “perfil de peligro” del Hospital;
- Las precauciones en el lugar de trabajo (PLT) sean las adecuadas.

Un panorama completo de cómo un SGSR efectivo controla los riesgos surgirá de un programa bien estructurado de las auditorías que indique cuándo y cómo cada parte constituyente será auditada. Un enfoque de equipo, que incluye los directores, los representantes de seguridad y los empleados es una manera efectiva de ampliar el involucramiento y la colaboración en la concepción e implementación del programa.

El proceso de auditoría incluye:

- I. La recolección de la información sobre el SGSR;
- II. La decisión sobre su conveniencia y desempeño.

I. Recolección de la información

La recolección de la información sobre la gestión de la seguridad radiológica requiere tomar decisiones sobre el nivel y profundidad de la auditoría. Todas las auditorías implican el muestreo y la pregunta principal es siempre: “¿Cuántas muestras se tienen que tomar para una la evaluación confiable?” La naturaleza y complejidad de un auditoría variarán de acuerdo con los objetivos y los alcances; el tamaño, el grado de complejidad de un Hospital y de la madurez del Sistema de Gestión de Seguridad Radiológica existente.

Los auditores tienen tres fuentes de obtención de la información:

- Entrevista de las personas, para obtener la información sobre la operación del SGSR, las percepciones, conocimiento, comprensión, prácticas de gestión, las habilidades y las competencias de los directores y empleados a varios niveles de un Hospital.
- Revisión de los documentos, evaluación de los archivos, los SCRR, los estándares del desempeño, los procedimientos e instructivos. Se revisa si estos son completos, precisos y confiables junto con las implicaciones de la competitividad y de la comprensión.
- Observación visual de las condiciones físicas y de las actividades de trabajo para revisar el cumplimiento con los requerimientos legales y verificar la implementación y la efectividad de las precauciones en el lugar de trabajo y de los SCRR.

Controles de la auditoría

Como en cualquier proceso existe la necesidad de control para asegurar que la auditoría se aplica rigurosamente y consistentemente. Un sistema no confiable puede provocar que los directores de los Hospitales pierdan la confianza en su relevancia y validez. Los controles típicos son:

- Asegurar que la auditoría se perciba como una herramienta positiva de la gestión de seguridad radiológica y se tome seriamente a todos los niveles de la administración;
- Asegurar que el sistema se aplique de acuerdo con su propósito original. El uso del sistema para cualquier otro propósito que no sea su propósito original puede reducir el rendimiento sobre la inversión en la auditoría. Un control más estricto puede ser necesario en donde se usan los sistemas numéricos de puntaje. La aplicación inconsistente puede provocar la invalidez del potencial de la comparación.;
- Asegurar la competencia de los auditores. Todos los sistemas, en mayor o menor grado, confían en la competencia de los auditores. Los estándares específicos de la capacitación y evaluación son valiosas para asegurar la consistencia del método y de la interpretación;
- Asegurar la implementación efectiva de los resultados y las recomendaciones.

Finalmente, para maximizar los beneficios, las auditorías tienen que llevarse a cabo por personal altamente competente e independientemente del área o las actividades que serán auditadas. Esto se puede lograr si se involucra el personal de las diferentes secciones, departamentos o lugares para llevar para auditar a sus propios colegas o invitando a consultores externos.

Cabe mencionar que los Hospitales pueden emplear sus propios sistemas de auditoría desarrollados por ellos mismos, o bien aquellos que se comercializan como sistemas particulares, o la combinación de ambos. Es muy poco probable que algún sistema particular comercial se adapte perfectamente a un Hospital. Habitualmente cualquier esquema tiene que ajustarse a los requerimientos individuales y la elección es influenciada por los costos y los beneficios potenciales. Los problemas frecuentes son:

- El sistema es demasiado general y requiere un trabajo considerable para ajustarlo a las necesidades y el “perfil de peligro” del Hospital en particular;
- El sistema puede resultar demasiado burocrático para el estilo y la cultura del Hospital,
- Los sistemas de puntuación pueden ocultar el deterioro en el desempeño si los detalles ocultos no se examinan;
- Las organizaciones que conducen la auditoría pueden crear un sistema que alcance altos puntajes, sin embargo, no corresponder a las necesidades y el “perfil de peligro” del Hospital.

A continuación se presentan algunas características de sistemas efectivos de auditoría:

- Se llevan a cabo por personas o equipos competentes que recibieron la capacitación específica para poder hacer este trabajo (por ejemplo, especialistas, asesores externos, entre otros).
- Los auditores son independientes del área o la sección que van a auditar.

II . La decisión sobre su conveniencia y desempeño.

Las auditorías se diseñan para evaluar los siguientes elementos principales del SGSR

Política

- Sus intenciones, alcances y conveniencia

Organización

- La aceptación de las responsabilidades en cuanto a la seguridad radiológica por los directores y la conveniencia de los acuerdos que se hicieron para asegurar el control.
- La conveniencia de los acuerdos para consultar y comprometer a todos los empleados en las cuestiones de seguridad radiológica.
- La conveniencia de los acuerdos para comunicar la política y la información relevante.
- La conveniencia de los acuerdos para asegurar la competencia de todos los empleados y los medios de la asistencia en materia de seguridad radiológica.

Planeación e implementación

- El control general y la dirección del esfuerzo en materia de seguridad radiológica.
- La conveniencia de los acuerdos de la gestión, de los SCRR y de las precauciones en el lugar de trabajo (PLT).
- La conveniencia de los recursos y su asignación y que tienen que ser proporcionales para reflejar el “perfil de peligro” del Hospital.
- El grado de cumplimiento con los acuerdos de la gestión, los SCRR, los estándares del desempeño y la efectividad de las precauciones en el lugar de trabajo en el logro del control de los riesgos.
- La mejora a largo plazo en el desempeño en cuanto a los índices de los accidentes e incidentes.

Sistemas de medición

- Sus conveniencia, relevancia y diseño

Sistemas de revisión

- La habilidad del Hospital de aprender de su experiencia, mejorar su desempeño, mejorar su SGSR y responder a los cambios.

Revisión del desempeño

La *revisión* es un proceso de toma de decisiones sobre el desempeño, la naturaleza y los tiempos de las acciones necesarias para remediar las deficiencias. Los Hospitales necesitan tener la retroalimentación para verificar si su

SGSR funciona efectivamente según como fue diseñado. Las fuentes principales de información provienen de las actividades de medición y de la auditoría de los SCRR y de las precauciones en el lugar de trabajo (PLT). Otros factores internos y externos que tienen influencia incluyen por ejemplo, las nuevas legislaciones o cambios en las buenas prácticas actuales.

La información sobre los éxitos o las fallas que se introduce al sistema es un elemento esencial en la motivación de los empleados para poder mantener y mejorar el desempeño.

En general, en el proceso de revisión se tendrá que examinar:

- La operación y el mantenimiento del SGSR según como fue diseñado; y
- El diseño, el desarrollo y la implementación del SGSR en circunstancias cambiantes.

La revisión tiene que ser un proceso continuo que comprometa diferentes niveles dentro del Hospital. Esto incluye las respuestas:

- de los supervisores directos o directores para remediar las fallas en la implementación de las precauciones en el lugar de trabajo (PLT) que se hayan detectado en el transcurso de las actividades rutinarias;
- Para remediar el desempeño por debajo de los estándares identificado en el transcurso del monitoreo activo y reactivo;
- Para evaluar los planes en los diferentes niveles: individual, departamental, de una sucursal en particular, de los grupos y del hospital en general.
- A los resultados de las auditorías.

Los planes de revisión pueden incluir:

- Las revisiones mensuales de los individuos, los supervisores;
- Las revisiones cada tercer mes de los departamentos;
- Las revisiones anuales de todo el Hospital.

Los Hospitales tienen que decidir sobre la frecuencia de las revisiones de cada nivel e idear las actividades de revisiones para coordinarlos con las actividades de la medición y auditorías del desempeño. El resultado de cualquier actividad de revisión tiene que especificar las acciones remediadoras específicas que:

- Establecen quién es el responsable de la implementación;
- Establecen las fechas límite para su cumplimiento.

Estas acciones forman la base del seguimiento efectivo que tiene ser monitoreado de cerca.

La velocidad y la naturaleza de la respuesta a cualquier situación tienen que determinarse de acuerdo con el grado del riesgo y la disponibilidad de los recursos. La revisión exige el ejercicio de un buen juicio y las personas responsables de la revisión necesitan una capacitación específica para lograr su competencia en este tipo de actividad.

Los indicadores más importantes del desempeño para la revisión general del desempeño pueden incluir:

- La evaluación del grado de cumplimiento con los requerimientos del SGSR
- La identificación de las áreas donde el SGSR es inadecuado
- La evaluación del logro de los objetivos y planes específicos
- La información sobre los accidentes, las enfermedades y los incidentes incluyendo el análisis de las causas inmediatas y latentes

Los Hospitales también pueden establecer las “referencias” de su desempeño con respecto a otros Hospitales u organizaciones relacionadas con la gestión de riesgos radiológicos comparando:

- Sus índices de accidentes con los de otros hospitales u organizaciones que usan los procesos similares y experimentan riesgos radiológicos
- Sus prácticas y técnicas de gestión de seguridad radiológica con las de las otras organizaciones que experimentan riesgos radiológicos.

Finalmente, como parte de una demostración de la responsabilidad corporativa, sería recomendable que los Hospitales incluyan los datos de su desempeño en cuanto a la seguridad radiológica en sus reportes anuales.

3.7 Conclusiones del capítulo

En este capítulo se describió el Sistema de Gestión de Seguridad Radiológica (SGSR) con aplicación a Hospitales. En principio, el SGSR es genérico en el sentido de que puede ser aplicado en cualquiera de las aplicaciones de las radiaciones en Hospitales. El SGSR será usado para diagnosticar el “sistema de gestión de seguridad radiológica” existente en el departamento de imagenología de un Hospital de servicios del DF. y esto se presenta en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO 4

Aplicación del SGSR al Departamento de Imagenología de un Hospital de Servicios en la Ciudad de México

En este capítulo se presenta la aplicación del modelo de SGSR al departamento de Imagenología de un Hospital de la Ciudad de México. El capítulo empieza con una breve descripción del Hospital y del departamento del caso de estudio en la sección 4.1. En la sección 4.2 se explican los resultados del diagnóstico del “sistema de gestión de seguridad radiológica” existente en el departamento del caso de estudio. La comparación de los resultados del diagnóstico con un SGSR para el caso del departamento de imagenología se expone en la sección 4.3. Finalmente, las propuestas de mejora en el Departamento bajo estudio se encuentran en la sección 4.4. Las conclusiones de este capítulo se presentan en el Capítulo 5.

4.1 El Hospital y el Departamento de Imagenología

4.1.1 El Hospital

El Hospital cuenta con varios servicios entre ellos se encuentra la “La Subdirección de Servicios Auxiliares de Diagnóstico y Paramédicos”. Esta subdirección se encarga de los siguientes servicios de apoyo:

- {a} Laboratorio Clínico
- {b} Laboratorio de Microbiología
- {c} Banco de Sangre
- {d} Departamento de Fisiología Respiratoria
- {e} Servicio de Patología
- {f} DEPARTAMENTO DE IMAGENOLOGÍA**
- {g} Departamento de Trabajo Social
- {h} Coordinación de Camilleros

De acuerdo a esta información, todos los servicios y departamentos listados tienen como meta primordial el proporcionar a los médicos solicitantes resultados confiables que los ayuden a integrar un diagnóstico etiológico certero para sus pacientes. Además, la fuente cita que como prueba de lo anterior el trabajo realizado en el Laboratorio Clínico, el Laboratorio de Microbiología, el Laboratorio del CIENI y el Banco de Sangre ha sido muy satisfactorio de tal manera que han obtenido y mantenido la certificación ISO-9001-2000. Lo anterior significa, según la fuente, que dichas certificaciones aseguran la calidad con la que realizan todos los procesos en cada uno

de estos laboratorios. Otro aspecto importante que menciona la fuente acerca del Hospital es el de mantener tecnología de punta en todas las áreas de influencia de la Subdirección y como muestra de ello en la actualidad se ha puesto en marcha el sistema de almacenamiento y distribución de imágenes digitales conocido como “PACS – RIS”.

Por otro lado, se argumenta que “no solo existe el compromiso con los médicos sino también con los pacientes que acuden al Instituto a quienes les ofrecemos un servicio con la calidad y la calidez necesarias que los haga sentir cómodos en el momento de la toma de muestras o en el momento de la realización del estudio solicitado por su médico, garantizándoles un trato amable, respetuoso y 100% profesional para que depositen toda su confianza en nuestros servicios”.

4.1.2 Departamento de Imagenología

Según la fuente de información, el departamento de imagenología cuenta con equipos vanguardistas de excelente calidad en imágenes que ayudan a detectar rápidamente anomalías en los órganos de cuerpo. Además los equipos ayudan a tener certeza diagnóstica en poco tiempo y acortan la estancia hospitalaria de los pacientes. El departamento ofrece los siguientes servicios:

{a} Tomografía

En la fuente de información acerca del departamento se menciona que en el mes de marzo del año 2002 se puso en marcha un tomógrafo helicoidal multicorte de última generación, según la fuente, “lo que nos pone a la vanguardia tecnológica en estudios radiológicos de tomografía torácica en el país”. Es sabido que este tipo de estudios es muy útil para la detección de padecimientos como el cáncer. Las imágenes generadas por los programas informáticos especializados muestran la localización exacta de tumores y nódulos en solo unos minutos y sin provocar molestia en los pacientes durante el estudio. El estudio toma solo 5 minutos, anteriormente se completaba en media hora. Cada año, se realizan aproximadamente 4450 tomografías computarizadas.

{b} Radiología

El departamento, de acuerdo con la información obtenida, cuenta con un equipo lector de fósforo, con lo que se inicia la digitalización de estudios radiológicos simples de tórax, con la posibilidad de ser selectivos en la impresión de placas con el consiguiente ahorro de material y el almacenaje más compacto en forma digital. Cada año el departamento efectúa un promedio de 50650 estudios radiográficos.

{c} Ultrasonido

El ultrasonido es un estudio que apoya el diagnóstico de enfermedades o confirma la normalidad en la anatomía o el funcionamiento de los órganos. El ultrasonido funciona a base de cristales que tienen la capacidad de modificar su forma y emiten ondas de sonido al ser estimulados por una corriente eléctrica o por el eco de otra onda emitida. Se llama "ultrasonido" pues no se escucha como los sonidos ordinarios, este es de alta frecuencia. Cuando las

ondas son enviadas a algún tejido del cuerpo, se producen "reflejos" o ecos que recogen los cristales que están en un aparato que se pone en contacto con la piel de la paciente. Los ecos recibidos son procesados por una computadora que los interpreta y los convierte en imágenes. La razón más común por la que se realiza esta prueba es durante el embarazo. El médico puede determinar entre otras cosas, la edad del feto, su crecimiento, o detecta alguna anormalidad. El ultrasonido tiene por supuesto un sin fin de aplicaciones y no se han encontrado efectos nocivos para los pacientes que se someten a este estudio. Cada año se realizan en el departamento más de 811 ultrasonografías.

{d} Gammagrama y estudios de medicina nuclear

En la medicina moderna, se utilizan las imágenes como parte del diagnóstico de los pacientes. El proceso incluye algunos fármacos que reaccionan ante partículas llamadas isótopos radioactivos (ver Capítulo 2 para más detalles de la física de la radiación). Con los estudios de medicina nuclear se visualizan los órganos en función y se detectan padecimientos, sin necesidad de cirugías. El estudio llamado gammagrama, recibe su nombre por los rayos gamma, que son los más utilizados, y que provienen del núcleo de los átomos (ver Capítulo 2). Los medicamentos que se administran antes del estudio, en general son tomados, o bien se inyectan en la vena, y el organismo los elimina por la orina o las heces. La radiación que recibe el organismo es mínima, muy parecida a la recibida durante la toma de una radiografía. Los estudios de medicina nuclear se aplican a todas las partes del cuerpo y todos los sistemas del organismo: cuando se aplica en los huesos se llama gammagrama óseo, para los pulmones recibe el nombre de gammagrama pulmonar, el corazón, la tiroides, el aparato digestivo, el cerebro y el sistema nervioso, los vasos sanguíneos, el sistema linfático, entre otros. La medicina nuclear es un campo en expansión, con cada vez mayores adelantos científicos, por ejemplo existen nuevos marcadores tumorales específicos que son útiles para determinar si existen lesiones malignas y lesiones a distancia en otros órganos. Las cámaras pueden generar imágenes en tercera dimensión y en varios planos.

4.1.3 Productividad del área de Imagenología

Según las fuentes de información, a partir del 18 de mayo de 2008 tras una espera de 10 meses se cree que finalmente se dará el servicio de imagenología con la utilización del tomógrafo. El beneficio de contar con este recurso en la unidad implica la obtención de instrumentos de estudio que permiten la pronta acción en el manejo de los pacientes. Obtener en tiempo real estudios de alta resolución, permite realizar tratamientos médicos y quirúrgicos en forma rápida y oportuna obteniendo una atención de alta calidad lo que coloca al Instituto a la vanguardia en atención de patología respiratoria.

4.2 Diagnóstico del Departamento/Hospital usando el modelo SGSR

4.2.1 Diagnóstico del “sistema de gestión de seguridad radiológica” existente

Esta sección presenta un diagnóstico de la situación actual en materia de seguridad radiológica en el Departamento de Imagenología.

El diagnóstico consistió de dos etapas:

Etapa 1: Elaboración y aplicación de cuestionarios con la finalidad de determinar la percepción de los trabajadores acerca de la seguridad y riesgo radiológicos en su Departamento.

Etapa 2: Diagnóstico de la práctica médica en el Departamento de Imagenología.

En los siguientes párrafos se reportan los resultados de estas etapas.

Etapa 1. Resultados de la encuesta

El objetivo fundamental de esta etapa fue determinar, en primer lugar, la existencia de un sistema de gestión de seguridad radiológica. En segundo lugar, se buscó obtener el grado de involucramiento de todo el personal que labora en dicho departamento en cuestiones de la seguridad radiológica. La metodología empleada para obtener dicha información fue mediante una encuesta por escrito (ver Anexo A para más detalles sobre el cuestionario aplicado).

{a} Resultados en cuanto a la existencia de un SGSR en el Departamento de Imagenología

En una entrevista la persona encargada de protección radiológica en el departamento de imagenología negó la existencia de un sistema formal de seguridad radiológica. Debe mencionarse que se le solicitó dicha información con la finalidad de hacer una comparación del sistema existente con el SGSR desarrollado.

{a} Resultados en cuanto a la percepción de la seguridad y riesgos radiológicos

La Figura 4.1 muestra gráficamente los resultados obtenidos en la encuesta que se llevó a cabo en el hospital. La encuesta se le realizó al siguiente personal: médicos adscritos, técnicos radiólogos, personal de enfermería, jefe del departamento, coordinador y residentes.

La Figura 4.1 muestra en forma gráfica las percepciones en materia de seguridad radiológica del personal descrito anteriormente. Se observa claramente que menos del 50 % de los trabajadores carece del conocimiento mínimo necesario en materia de seguridad radiológica. Obviamente, lo anterior no fue una sorpresa ya que no se cuenta con un sistema de seguridad radiológica en el Hospital, que habitualmente garantiza el involucramiento del personal en las cuestiones relacionadas con la seguridad radiológica.

Etapa 2. Estudios de casos en la práctica médica del Departamento de Imagenología

En esta sección se describen cinco estudios de casos de la práctica médica en el Departamento de Imagenología. El objetivo fundamental de dichos estudios es identificar e ilustrar deficiencias y debilidades del Departamento en materia de seguridad radiológica

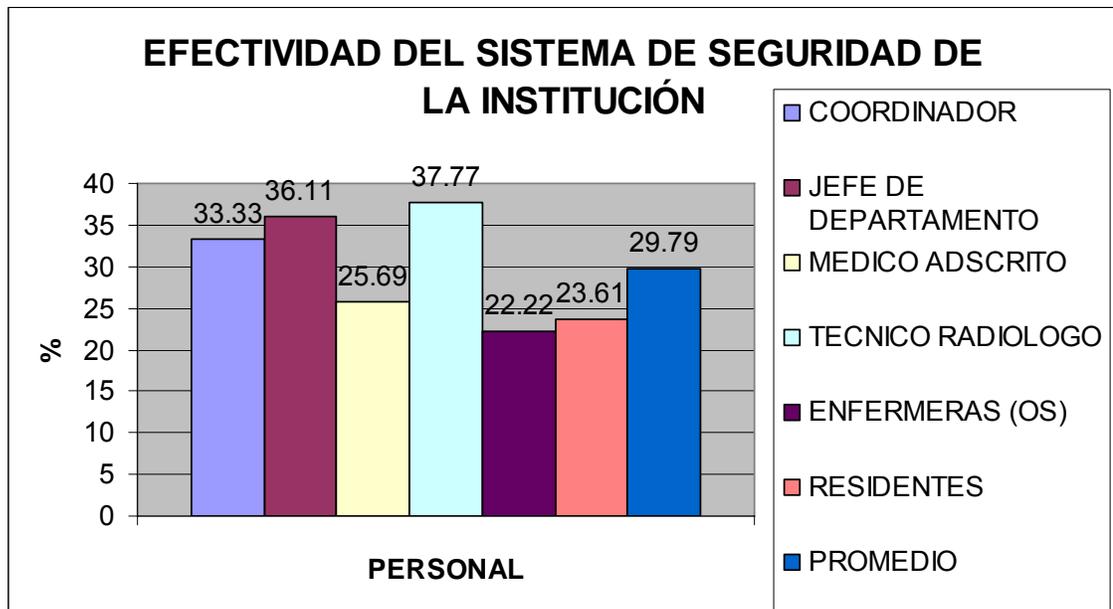


Figura 4.1 Percepciones en materia de seguridad radiológica del personal del Departamento de Imagenología

Los casos bajo el estudio fueron los siguientes:

- {i} Caso I: Número de cassetes usados para estudios de Rayos X
- {ii} Caso II: Número de meses necesarios para cambiar cassetes
- {iii} Caso III: Tasa de rechazo
- {iv} Caso IV: Estudios de radiografía y niveles de referencia
- {v} Caso V: Reducción de Dosis Superficie a la Entrada (DSE)

Cada uno de estos casos se presenta a continuación.

CASO I: Número de cassetes usados para estudios de Rayos X

{a} Algunas consideraciones acerca de los cassetes

En agosto del 2007, se llevó a cabo un estudio con la finalidad de conocer la “tasa de rechazo” en RX en el Departamento de Imagenología. Una de las conclusiones de este estudio fue que la mayor parte de las placas obtenidas son de Tórax AP y PA (ver Figura 4.2).

De acuerdo al fabricante de Cassetes, Kodak, se recomienda un máximo de 10,000 tomas de RX por cada casete y esto es con la finalidad de brindar una mayor confiabilidad y calidad a los estudios (cabe mencionar que el material de los cassetes es de fósforo y este es como cualquier otro producto sufre un desgaste por el uso).



Figura 4.2 Porcentaje de exámenes más solicitados de rayos X (RX) en el Hospital en agosto del 2007.

La Tabla 4.1 muestra el número total de cassetes con las que contaba el Departamento de Imagenología cuando se llevó a cabo este estudio.

Tabla 4.1 Número de Casetes con los que cuenta el Departamento de Imagenología

Se cuenta actualmente con:	
5	Casetes de 17"
9	Casetes de 14"
5	Casetes de 10" x 12"
1	Casetes de 8" x 10"
20	Casetes en total

{b} *Análisis del número de estudios/casete.*

Se leyeron por lo menos 199 técnicas para estudios de RX durante 5 días en el turno matutino (TM), pero se sacan en promedio 140 estudios por día.

Sí se considera que:

1 mes = 30 días

8 meses = 240 días

Si se considera el TM solamente,

5 días (TM) = 199 estudios

240 días = X

X = 9552 estudios (TM) en 240 días o bien en ocho meses.

Por otro lado, si se divide 9,552 estudios (TM) entre 20 casetes, se obtendría:

$$\frac{9,552}{20} = 477.6 \text{ estudios/casete}$$

Esto es un total de **477.6 estudios por casete** en el turno matutino en 8 meses, sin tomar en cuenta el promedio de 140 estudios diarios. Cabe mencionar que el estudio no tomó en cuenta los turnos: vespertino, nocturno, sábados y domingos.

{c} Conclusiones de este Caso I.

- Lo anterior explica el porqué los técnicos radiólogos, al no contar con suficientes casetes, utilizan técnicas de alta potencia para obtener imágenes de calidad aceptable. Obviamente, con estas técnicas logran obtener mejores resultados en cuanto a la calidad d imagen, pero a costo de una sobreexposición de los pacientes y de ellos mismos.
- Se puede argumentar que hay mucho desgaste en los equipos debido a las sobrecargas frecuentes, con lo cual se acorta la vida útil de los equipos
- Si se toman en cuenta los 140 estudios diarios (promedio de estudios que se llevan a cabo diariamente), se tendría que los casetes ya tienen 1,680 estudios en promedio cada uno y que por lo tanto es necesario hacer una revisión exhaustiva de cada uno y/o darles mantenimiento.
- Los puntos anteriores resaltan algunos puntos como los que se lista a continuación:

{a} falta de capacitación del (los) técnico(s) radiólogos en relación a los riesgos de sobreexposición del paciente y de ellos mismos;

{b} falta de procedimientos adecuados de monitoreo activo (ver la sección 3.4 del Capítulo 3) del desempeño de los técnicos radiólogos;

{c} falta de procedimientos de monitoreo reactivo (ver la sección 3.4 del Capítulo 3) del desempeño de los técnicos radiólogos. Por ejemplo, en el presente caso ¿Se investiga el caso cuando los técnicos radiólogos utilizan técnicas de alta potencia para obtener imágenes? ¿Existe una persona(s) claramente capacitada(s) para llevar a cabo dichas investigaciones?

{d} ¿existen los mecanismos apropiados de retroalimentación con los resultados de la investigación?

{e} ¿existen los canales de comunicación adecuados para el reporte de la falta de casetes?

CASO II: Número de meses necesarios para cambiar casetes

La Tabla 4.2 muestra datos de estudios realizados en el Departamento de Imagenología durante un periodo de seis meses. Dichos datos se usaron para hacer una estimación aproximada del tiempo en que se necesita para cambiar los casetes.

Tabla 4.2 Total de estudios realizados en 6 meses en el Departamento de Imagenología

Estudios realizados en 6 meses: 25,519 estudios		
Se cuenta actualmente con:	Número de casetes:	Utilidad del casete en (%)
Casetes de 17" Kodak	5	48.27 %
Casetes de 14" Kodak	9	34.48 %
Casetes de 10" Kodak	5	13.80 %
Casetes de 8" Kodak	1	3.45%
Totales	20	100 %

Sí se considera que:

6 meses = 25,519 estudios

25,519 estudios = 100 %

{a} *Determinación del número de estudios/casete en 6 meses*

Caso del casete de 17"

$$\text{No. estudios en 6 meses por casete} = \frac{\left(\frac{48.7 \times 25,519}{100} \right)}{5} = 2,463.60$$

Tabla 4.3 Resultados del número de estudios por casete en 6 meses

Características de casetes	No. estudios en 6 meses / casete
Casete de 17"	2463.60 estudios aprox. / casete en 6 meses
Casete de 14"	997.66 estudios aprox. / casete en 6 meses
Casete de 10"	704.32 estudios aprox. / casete en 6 meses
Casete de 8"	880.40 estudios aprox. / casete en 6 meses

{b} *Determinación del número de años que se requieren para cambiar casetes*

Caso del casete de 17"

Sí se considera que:

180 días = 2,463.60 estudios por casete de 17"

X = 10,000 estudios

X = 730.66 días

X = 24.3 meses

$$\text{No. meses necesario cambiar casetes} = \frac{10,000 \times 180}{2463.60} = 730.63 \text{ días (aprox. 24.3 meses)}$$

Tabla 4.4 Resultados del número de meses necesarios para cambiar casete

Características de casetes	No. meses aprox. p/cambiar casetes
Casete de 17"	Aprox. cada 24 meses (5 casetes)
Casete de 14"	Aprox. cada 61 meses (5 años) (9 casetes)
Casete de 10"	Aprox. cada 85 meses (7 años) (5 casetes)
Casete de 8"	Aprox. cada 68 meses (5 ½ años) (1 casete)

{c} Conclusiones/comentarios del Caso II

➤ El estudio del caso resalta la importancia de algunos puntos como los que se listan a continuación:

{a} ¿Existe una planeación en la adquisición de material (casetes) suficiente para no comprometer la seguridad de los pacientes y los técnicos radiólogos?

{b} ¿La dirección general del Hospital provee los suficientes recursos para la adquisición de dicho material?

{c} ¿Con qué frecuencia se conducen las auditorías y qué tan eficientes son para identificar este tipo de problemas de falta de material?

CASO III: Tasa de Rechazo

La ecuación para calcular la tasa de rechazo esta dada por (Gaona, 2006):

$$\text{Tasa de rechazo (\%)} = \frac{\text{Total de placas rechazadas}}{\text{Total de placas expuestas}} \times 100 \leq 2\%$$

Durante la lectura de algunas técnicas de RX aplicadas a pacientes, en el turno matutino de los días 8, 9, 14, 15 y 16 de agosto de 2007 se identificaron al menos 12 repeticiones por diversas causas, teniendo una tasa de rechazo de 6.03%; esto es

Total Placas rechazadas = 12

Total Placas expuestas = 199

Aplicando la ecuación anterior

$$\text{Tasa de rechazo (\%)} = \frac{12}{199} \times 100 = 6.03\%$$

La tasa de rechazo mínima debería ser de 2%, por lo tanto la tasa de rechazo de los cinco días del mes de agosto es demasiado elevada para ser aprobada pues supera en un 301.5% los límites de rechazo o tasa de rechazo.

Conclusiones/comentarios del Caso III

- Los resultados resaltan algunos puntos como los que se listan a continuación:
 - {a} ¿Se investigó por qué dicha tasa de rechazo tan elevado se presentó?
 - {b} ¿Cuáles son los procedimientos que se implementaron para disminuir la tasa de 6% a 2%?
 - {c} ¿Se capacitó al técnico radiólogo?
 - {d} ¿Hay procedimientos adecuados en el proceso de contratación de técnico radiólogo?
 - {e} ¿Hay recursos suficientes para equipos, personal y material (casetes) por parte de la dirección?
 - {f} ¿Existe un sistema de control (por ejemplo de calidad) de casetes? y si existe ¿Qué tan efectivo/eficiente es? ¿Es auditado? ¿Con qué frecuencia?

CASO IV: Estudios de Radiografía y niveles de referencia

Niveles de referencia que se usaran para este caso de estudio

Tabla 4.5 Valores de referencia en grafía para adultos (RD 1976/1999, Directiva 97/43/EURATOM)

Tipo de exploración	Dosis superficie a la entrada (DSE) (mGy)
Abdomen AP	10.0
Columna lumbar AP/PA	10.0
Columna lumbar L	30.0
Columna lumbo-sacra L	40.0
Cráneo AP	5.0
Cráneo L	3.0
Cráneo PA	5.0
Mamografía	10.0

Pelvis AP	10.0
Tórax L	1.5
Tórax PA	0.3

Tabla 4.6 Niveles de referencia para diagnóstico médico con rayos X (NOM-229-SSA1-2002)

Examen	Dosis de entrada en superficie por radiografía * (mGy)	
	AP	10
Columna vertebral lumbar	LAT	30
	ASL	40
Abdomen, urografía y colecistografía intravenosas	AP	10
Pelvis	AP	10
Articulación de cadera	AP	10
Tórax	PA	0.4
	LAT	1.5
Columna vertebral torácica	AP	7
	LAT	20
Dental	Periapical	7
	AP	5
Cráneo	PA	5
	LAT	3

Características del equipo SIEMENS POLYPHOS 30

Los niveles de referencia mostrados en las Tablas 4.5 y 4.6 se usarán para validar los límites de dosis para el equipo.

El equipo POLYPHOS 30 es el que tiene la mayor carga de trabajo dentro del Hospital (ver Figura 4.3). A continuación se describen algunas de sus características:

- El rango máximo de kVp que se puede utilizar es 125
- El rango máximo de mAs que se puede utilizar es 500
- Las pruebas se hicieron a una distancia de 100 cm
- La colimación fue de 15 x 15 cm.
- La CHR a 80 kVp fue de 2.691
- El rendimiento promedio fue de 6.93 mR/ mAs

Al equipo se le realizaron las pruebas de aceptación por el AESR (NOM-229-SSA1-2002) que presta los servicios al hospital.



(a) Bucky de pared



(b) Colimador



(c) Mesa con bucky



(d) Consola de control

Figura 4.3. Equipo para el radiodiagnóstico SIEMENS POLYPHOS 30

Obtención de la DSE (Dosis Superficial de Entrada)

La ecuación que se usó para la determinación de la DSE es la propuesta por De Bushong (De Bushong, 1997; pág. 528).

$$DSE = (\text{Rendimiento promedio}) \left(\frac{\text{Tec.estudio}(kVp)}{\text{Tensión}(kVp)} \right)^2 \left(\frac{\text{Distancia}}{\text{Dist.Estudio}} \right)^2 (mAs)$$

Donde:

DSE = Dosis Superficial de Entrada (mR)

Rendimiento promedio = (mR/ mAs)

Tensión = Tensión a la que se obtiene el rendimiento promedio (kVp)

Distancia = Distancia a la que se obtiene el rendimiento promedio (cm)

Tec. Estudio = kVp utilizado para obtener una radiografía (kVp)

Dist. Estudio = Distancia de la fuente de RX a la persona (en cm.)

mAs= Mili Amper Segundo utilizado para obtener la radiografía.

Los valores obtenidos de la ecuación anterior se compararon con los valores de referencia, para verificar si hay sobreexposición o no, y los resultados se muestran en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7 Resultados de los estudios de radiografía Torax-AP, agosto 2007.

DIFERENTES TÉCNICAS RADIOLÓGICAS DE ESTUDIO SE USAN PARA OBTENER RADIOGRAFÍAS AP O PA, ESTUDIO REALIZADO EN EL HOSPITAL, AGOSTO 2007							
Caso	No. De eventos	Nombre del estudio	Técnica de estudio		Dosis de entrada superficial (mGy)	Límite (mGy)	Validación
			kVp	mAs			
1	77	Tórax-AP	117	12.5	0.46	0.3	Sobreexposición
2	10	Tórax-AP	109	10	0.32	0.3	Sobreexposición
3	3	Tórax-AP	117	25	0.93	0.3	Sobreexposición
4	1	Tórax-AP	117	32	1.19	0.3	Sobreexposición
5	1	Tórax-AP	85	6.3	0.12	0.3	Pasa
6	1	Tórax-AP	117	2.5	0.09	0.3	Pasa
7	3	Tórax-AP	117	10	0.37	0.3	Sobreexposición
8	1	Tórax-AP	102	25	0.70	0.3	Sobreexposición
9	2	Tórax-AP	125	16	0.68	0.3	Sobreexposición
10	1	Tórax-AP	81	8	0.14	0.3	Pasa
11	1	Tórax-AP	117	20	0.74	0.3	Sobreexposición
12	2	Tórax-AP	77	100	1.60	0.3	Sobreexposición
13	2	Tórax-AP	117	32	1.19	0.3	Sobreexposición
14	1	Tórax-AP	125	16	0.68	0.3	Sobreexposición
15	1	Tórax-AP	125	40	1.69	0.3	Sobreexposición
16	1	Tórax-AP	85	50	0.98	0.3	Sobreexposición
17	1	Tórax-AP	117	16	0.59	0.3	Sobreexposición
18	1	Tórax-AP	125	12.5	0.53	0.3	Sobreexposición
19	1	Tórax-AP	81	25	0.44	0.3	Sobreexposición
20	1	Tórax-AP	40	1.2	0.01	0.3	Pasa
21	1	Tórax-AP	125	125	5.29	0.3	Sobreexposición
22	1	Tórax-AP	125	160	6.77	0.3	Sobreexposición
23	1	Tórax-AP	90	400	8.77	0.3	Sobreexposición
24	1	Tórax-AP	70	32	0.42	0.3	Sobreexposición

25	1	Tórax-AP	63	25	0.27	0.3	Pasa
26	3	Tórax-AP	125	320	13.54	0.3	Sobreexposición
27	3	Tórax-AP	117	16	0.59	0.3	Sobreexposición
28	1	Tórax-AP	125	160	6.77	0.3	Sobreexposición
29	2	Tórax-AP	90	320	7.02	0.3	Sobreexposición
30	1	Tórax-AP	117	4	0.15	0.3	Pasa
31	1	Tórax-AP	77	63	1.01	0.3	Sobreexposición
32	1	Tórax-AP	125	16	0.68	0.3	Sobreexposición
33	2	Tórax-AP	125	40	1.69	0.3	Sobreexposición
34	2	Tórax-AP	117	40	1.48	0.3	Sobreexposición
35	1	Tórax-AP	125	160	6.77	0.3	Sobreexposición
36	1	Tórax-AP	102	100	2.82	0.3	Sobreexposición
37	1	Tórax-AP	109	125	4.02	0.3	Sobreexposición
38	2	Tórax-AP	102	63	1.77	0.3	Sobreexposición
39	1	Tórax-AP	117	200	7.41	0.3	Sobreexposición
40	1	Tórax-AP	125	400	16.92	0.3	Sobreexposición
41	1	Tórax-AP	125	320	13.54	0.3	Sobreexposición
42	1	Tórax-AP	109	16	0.51	0.3	Sobreexposición
43	1	Tórax-AP	48	8	0.05	0.3	Pasa
44	1	Tórax-AP	60	32	0.31	0.3	Sobreexposición
45	2	Tórax-AP	57	40	0.35	0.3	Sobreexposición
46	1	Tórax-AP	109	100	3.22	0.3	Sobreexposición
Total	147						

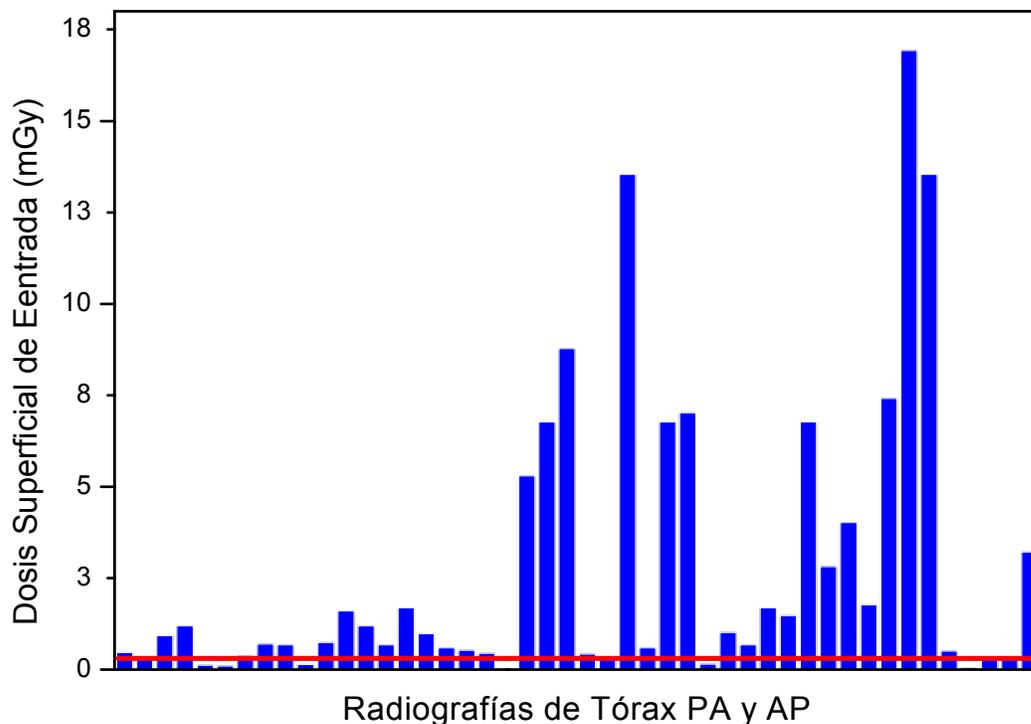


Figura 4.4 Gráfica de resultados de los estudios de radiografía Torax-AP, agosto 2007.

De la Tabla 4.7 y Figura 4.4 se aprecia que de 46 casos de estudio en más del 80% hubo sobreexposición. Por otro lado, los resultados del caso 1, en donde hubo una sobreexposición en el estudio de Torax-AP en 77 veces o eventos. Lo anterior da una indicación de que hay un porcentaje muy elevado de sobreexposición y claramente los resultados no cumplen con los niveles de referencias establecidos por las normas mencionadas anteriormente; es decir, la norma española RD 1976/1999 y la norma europea, Directiva 97/43/EURATOM.

Tabla 4.8 Resultados de estudio de radiografías AP de Niños y Bebés, agosto 2007.

DIFERENTES TÉCNICAS RADIOLÓGICAS DE ESTUDIO SE USAN PARA OBTENER RADIOGRAFÍAS AP O PA DE NIÑOS Y BEBES, ESTUDIO REALIZADO EN EL HOSPITAL, AGOSTO 2007.							
Caso	No. de eventos	Nombre del estudio (para niños)	Técnica de estudio		Dosis de entrada superficial (mGy)	Límite (mGy)	Validación
			kVp	mAs			
1	2	Tórax-AP	85	6.3	0.12	0.15	Pasa
2	1	Tórax-AP*	117	10	0.37	0.15	Sobreexposición
3	2	Tórax-AP	96	8	0.20	0.15	Sobreexposición
4	2	Tórax-AP	90	8	0.18	0.15	Sobreexposición
5	1	Tórax-AP	90	10	0.22	0.15	Sobreexposición
6	1	Tórax-AP	85	6.5	0.13	0.15	Pasa
7	1	Tórax-AP**	77	4	0.06	0.15	Pasa
8	8	Tórax-AP	77	6.3	0.10	0.15	Pasa
9	3	Tórax-AP	66	6.3	0.07	0.15	Pasa
	21						

* El técnico no verificó y cambió los valores de técnica antes de llevar a cabo el estudio

** Se trata de un bebe

Al igual que en el caso anterior, en la Tabla 4.8 y Figura 4.5 se aprecia que hay un porcentaje considerable de casos de sobreexposición. La línea roja mostrada en la Figura 4.5 indica el límite orientativo que establece la norma española RD 1976/1999 y la norma europea, Directiva 97/43/EURATOM.

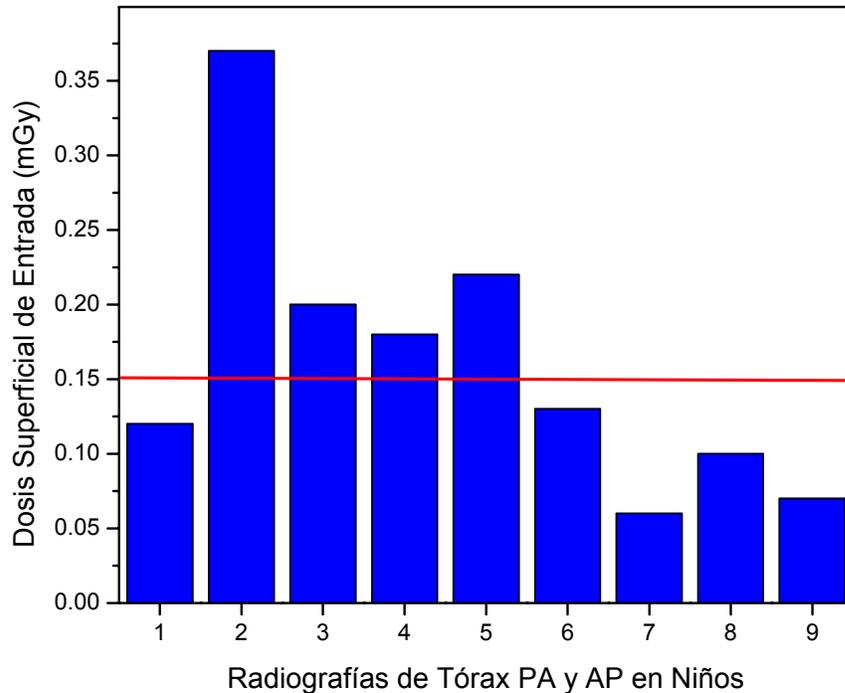


Figura 4.5 Gráfica de resultados de estudio de radiografías AP de Niños y Bebés, agosto 2007.

Los resultados presentados en las Tablas 4.9, 4.10 y 4.11 en la mayoría de los casos están dentro de los límites orientativos de acuerdo a las normas mencionadas anteriormente. Sin embargo, dentro del hospital se tomaron medidas correspondientes para delimitar aun más la DSE y esto se describe en el Caso VI.

Tabla 4.9 Resultados de estudio de radiografías de cráneo, agosto 2007.

DIFERENTES TÉCNICAS RADIOLÓGICAS DE ESTUDIO SE USAN PARA OBTENER RADIOGRAFÍAS DE CRÁNEO, ESTUDIO REALIZADO EN EL HOSPITAL, AGOSTO 2007							
Casos	No. de eventos	Nombre del estudio	Técnica de estudio		Dosis de entrada superficial (mGy)	Límite (mGy)	Validación
			kVp	mAs			
1	1	Cráneo	77	32	0.51	5	Pasa
2	1	Cráneo	73	25	0.36	5	Pasa
3	1	Cráneo	102	32	0.90	5	Pasa
4	1	Cráneo	82	31	0.56	5	Pasa
5	1	Cráneo	70	16	0.21	5	Pasa
Total	5						

Tabla 4.10 Resultados de estudio de radiografías de Cuello, Abdomen, Brazo, Lat. Rino, Rodilla, Torax Lat. Izq. y Der., agosto 2007.

DIFERENTES TÉCNICAS RADIOLÓGICAS DE ESTUDIO							
Caso	No. de eventos	Nombre del estudio	Técnica de estudio		Dosis de entrada superficial (mGy)	Límite (mGy)	Validación
			kVp	mAs			
1	1	Cuello	125	25	1.06		Pasa
2	2	Cuello*	66	25	0.29		
3	1	Abdomen	73	50	0.72	10	Pasa
4	2	Brazo	70	25	0.33		Pasa
5	1	Lat. Rino	70	10	0.13		Pasa
6	1	Rodilla	63	32	0.34		Pasa
7	1	Lat. Izq. Tórax	90	320	7.02	1.5	Sobreexposición
8	1	Lat. Der. Tórax	90	320	7.02	1.5	Sobreexposición
Total	10						

Tabla 4.11 Resultados de estudio de radiografías de Columna y Cadera, agosto 2007.

DIFERENTES TÉCNICAS RADIOLÓGICAS DE ESTUDIO SE USAN PARA OBTENER IMÁGENES DE COLUMNA Y CADERA, ESTUDIO REALIZADO EN EL HOSPITAL							
Caso	No. de eventos	Nombre del estudio	Técnica de estudio		Dosis de entrada superficial (mGy)	Límite (mGy)	Validación
			kVp	mAs			
1	1	Cadera serie	125	125	5.29	10	Pasa
2	1	Cadera serie	125	160	6.77	10	Pasa
3	2	Cadera serie	125	250	10.57	10	Sobreexposición
4	1	Cadera	125	125	5.29	10	Pasa
5	2	Lumbosacra	125	125	5.29	30	Pasa
6	2	Lumbosacra lateral	125	160	6.77	40	Pasa
7	1	Lumbosacra lateral	85	320	6.26	40	Pasa
8	1	Lat. Columna	85	320	6.26	30	Pasa
9	1	Cadera	70	50	0.66	10	Pasa
10	1	Columna	90	200	4.39	10	Pasa
11	1	Columna	81	400	7.10	10	Pasa
12	2	Columna	81	320	5.68	10	Pasa
Total	16						

Conclusiones/comentarios del caso IV

- Lo anterior resalta la necesidad de llevar a cabo una evaluación de riesgos de sobreexposición y así diseñar e implementar sistemas de control de riesgos radiológicos (pueden ser procedimientos de trabajo).
- Los resultados del estudio del caso resaltan algunos puntos como los que se lista a continuación:
 - {a} ¿Existe una persona/departamento que investiga dichos incidentes/accidentes (sobreexposición)?
 - {b} ¿Existen procedimientos adecuados de monitoreo activo del desempeño de los técnicos radiólogos en el proceso de toma de radiografía?
 - {c} ¿Existen procedimientos de monitoreo reactivo?
 - {d} ¿Se investiga el incidente de sobreexposición?
 - {e} ¿Se evaluaron las consecuencias de la sobreexposición, por ejemplo, del caso 1 de la Tabla 4.7?
 - {f} ¿Cuál fue el aprendizaje?
 - {d} ¿Hubo retroalimentación de los resultados de la investigación hacia todos los trabajadores?
 - {e} ¿Existen los canales de comunicación adecuados de reporte de la falta de casetes?
 - {f} ¿Qué papel juega la Dirección de Seguridad Radiológica (DSR) o equivalente?

CASO V: Reducción de Dosis Superficie a la Entrada (DSE)

Para reducir la DSE en pacientes sin afectar la calidad de imagen, se hizo una reunión con los médicos radiólogos, técnicos radiólogos, física médica, coordinadores, supervisores y algunos directivos, con el fin de revisar y analizar las técnicas utilizadas y proponer las técnicas adecuadas para no sobreexponer al paciente y conservar la máxima calidad de imagen. Tabla 4.12 muestra un resumen de las características de las técnicas adoptadas para la reducción de DSE.

Tabla 4.12 Características de las técnicas adoptadas para la reducción de DSE

EQUIPO SIEMENS POLYPHOS 30				
Nombre del estudio	Técnica más apropiada		Distancia	Dosis Superficial de Entrada (mGy)
	kVp	mAs		
Tórax AP o PA	90	5	180 cm	0.14
Tórax AP o PA (niños)	77	5	180 cm	0.10

Se espera que con estas técnicas no se requiera “maquillar” la imagen y se ha comprobado con la realidad. Las Figuras 4.6 y 4.7 muestran una reducción significativa de la DSE.

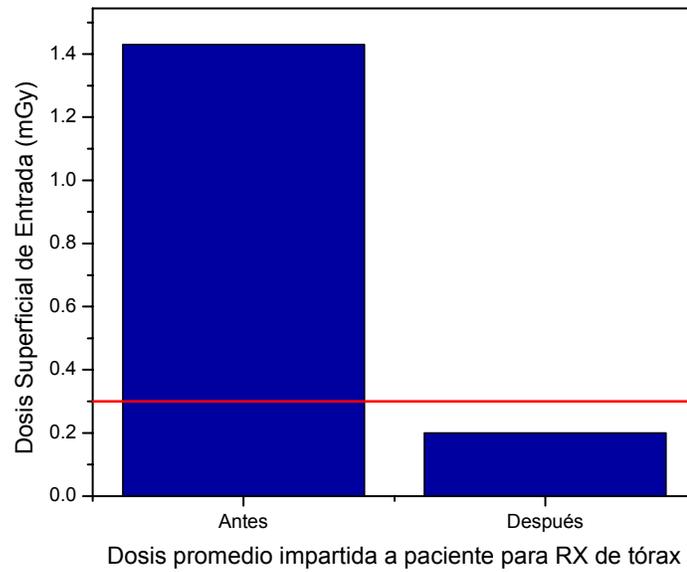


Figura. 4.6 Gráfica de dosis promedio impartida a paciente para RX de Tórax, hospital, octubre de 2007.

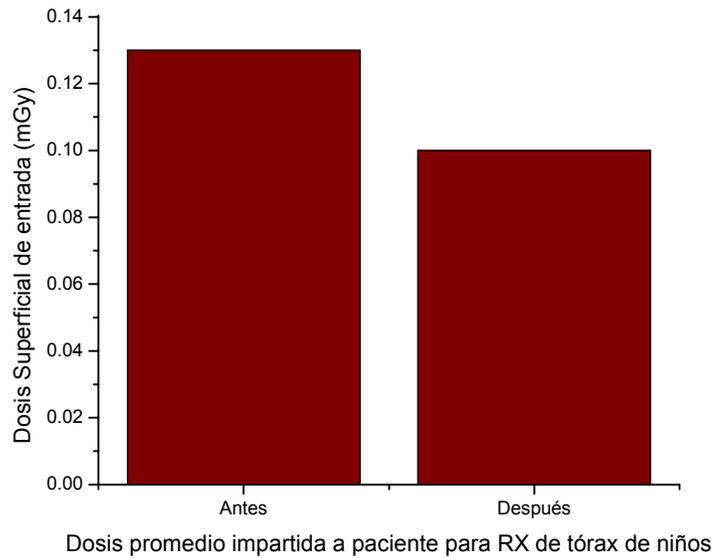


Figura 4.7 Gráfica de dosis promedio impartida a paciente para RX de tórax de niños, hospital, octubre de 2007

Conclusiones del Caso V

- Lo anterior muestra que es posible prevenir incidentes/accidentes de sobreexposición a radiaciones mediante el proceso de evaluación de riesgos.

- Lo anterior muestra que se requieren recursos, cooperación, comunicación, coordinación, capacitación, entre otros, para lograr dichos objetivos. En general, se requiere de un SGSR que no solamente enfaticen en “protección” radiológica pero el énfasis debe de ser en “prevención”.

4.3 Comparación con las características principales del SGSR

Tabla 4.13. Resumen del diagnóstico al Departamento de Imagenología de un Hospital de servicios del DF.

Características del Sistema de Gestión de Seguridad Radiológica (SGSR)		Departamento de imagenología de un Hospital de Servicios del DF.		Observaciones
		SI	NO	
POLÍTICA	Apoyo recursos humanos (capacitación en materia de seguridad radiológica)		X	No hay evidencia de una política del hospital en cuanto a capacitación de los recursos humanos en materia de seguridad radiológica (ver resultados de cuestionarios en sección 4.2.1 y Apéndice A-5).
	Reconocer accidentes/incidentes como falla del SGSR		X	No hay evidencia de una política de este tipo; ya que el Departamento NO cuenta con un SGSR (ver sección 4.2.1 y Apéndice A-6).
	Recursos promoción “cultura” de seguridad		X	No hay evidencia de una política de promoción de una cultura de seguridad radiológica (ver resultados de cuestionarios en sección 4.2.1 y Apéndice A-5).
	Recursos evaluación de riesgos radiológicos		X	No hay evidencia de una política de evaluación de riesgos radiológicos.
ORGANIZACION	Control		X	No hay evidencia de una clara asignación de responsabilidades (ver sección 4.2.5), excepto una persona encargada de un departamento de protección radiológica”.
	Comunicación		X	No hay evidencia explícita de una buena comunicación en el Departamento en cuanto a seguridad radiológica (ver resultados de cuestionarios en sección 4.2.1 y Apéndice A-5).
	Cooperación		X	No hay evidencia explícita de cooperación de los trabajadores en el Departamento en cuanto a seguridad radiológica (ver resultados de cuestionarios en sección 4.2.1 y Apéndice A-5).
	Competencia		X	No hay evidencia explícita de procedimientos adecuados en cuanto a la contratación de personal competente en el Departamento en cuanto a seguridad radiológica (ver sección 3.2)
PLANEACIÓN E IMPLEMENTACIÓN	Sistema de gestión de seguridad radiológica		X	No hay evidencia de la existencia de un SGSR a nivel del Hospital ni en el Departamento de Imagenología.
	Evaluación y control de riesgos radiológicos		X	No hay evidencia de una cultura de evaluación de riesgos en el Departamento.
	Responder a “cambios” en el sistema		X	Debido a que no existe un SGSR es difícil saber si existen procedimientos adecuados para responder a cualquier “cambio” dentro y fuera del sistema.
	Apoyo a “cultura” de seguridad radiológica		X	No hay evidencia explícita de una planeación estratégica de la creación o promoción de una “cultura” de seguridad radiológica.
MEDICIÓN DEL DESEMPEÑO	Sistemas ACTIVOS de monitoreo		X	No hay evidencia explícita de un sistema activo de monitoreo de los riesgos radiológicos. Aunque cabe señalar que existe un departamento de protección radiológica que de alguna manera lleva a cabo esta función.
	Sistemas REACTIVOS de monitoreo		X	No hay evidencia de la existencia de un sistema reactivo de monitoreo; es decir, no es muy claro si se hace una investigación explícita de algún incidente/accidente. Además, no existe en el hospital una DSR la cual debería llevar a cabo esta función.
	Procedimientos de captura de ambos tipos de información (Activo y Reactivo)		X	No hay evidencia de la existencia de procedimientos de este tipo. Por ejemplo, la existencia de una base de datos de incidentes/accidentes que hayan ocurrido en un periodo dado de tiempo.

AUDITORÍA Y REVISIÓN DEL DESEMPEÑO	Naturaleza y propósito de la auditoría	X	X	No hay evidencia de una política del hospital en cuanto a la capacitación de los recursos humanos en materia de seguridad radiológica (ver resultados de cuestionarios en sección 4.2.1 y Apéndice A-5).
	Auditoría de cada elemento del SGSR	X	X	No se encontró información de los resultados de auditorías; pero se asume que dicho departamento es auditado.
	Revisión del desempeño del SGSR en relación a seguridad radiológica	X	X	No se obtuvo información del desempeño del departamento en cuanto a la seguridad radiológica. Sin embargo, los cuestionarios indican que hay muchas deficiencias.

La Tabla 4.13 muestra el resumen de la comparación del SGSR desarrollado con el sistema existente en el Departamento de Imagenología y del Hospital. En general, se observa que efectivamente no existe un sistema que muestre claramente todos los elementos del SGSR desarrollado en el presente trabajo. Aunque cabe mencionar que existen algunas funciones asociadas con algunos elementos del SGSR, pero no es suficiente.

Como conclusión de esta etapa de diagnóstico se puede afirmar que hay muchas deficiencias en materia de gestión de seguridad radiológica en el Hospital y en el Departamento de Imagenología. Por lo consiguiente, la probabilidad de que ocurra un accidente/incidente es más alta que en el caso de contar con un SGSR como el descrito en el Capítulo 3.

4.4 Propuestas de mejora en el Departamento de Imagenología

Un Sistema efectivo de Gestión de Seguridad Radiológica (SGSR) con aplicación a Hospitales es la aportación de este estudio al Departamento de Imagenología de un Hospital de servicios del DF. La Figura 4.8 muestra al SGSR-Imagenología y se describe en el Capítulo 3. La sección 3.1.1 presenta las Políticas efectivas, discutidas y aprobadas por el Departamento de Imagenología. La sección 3.1.2 propone un organigrama de asignación de responsabilidades que tendría que tener el Hospital y el Departamento de Imagenología en materia de seguridad radiológica. Cabe mencionar que se propone la creación de una dirección de seguridad radiológica (DSR) a nivel Hospital. Las responsabilidades de cada una de las funciones se describen en la sección 3.1.2. Finalmente, en el Capítulo 3 se exponen algunos aspectos importantes que se tienen que considerar para el diseño completo de un Sistema de Gestión de Seguridad Radiológica para el Departamento de Imagenología. En particular, se detallan los elementos restantes del SGSR; es decir **ORGANIZACIÓN, PLANEACIÓN E IMPLEMENTACIÓN, MEDICIÓN DEL DESEMPEÑO, AUDITORÍA Y REVISIÓN CONTINUA.**

4.4.1 Políticas

- “El objetivo principal del Departamento de Seguridad Radiológica en materia de seguridad es el de mantener los riesgos radiológicos dentro de niveles aceptables”.
- “Todo el personal que labora en el Departamento de Imagenología tiene que estar involucrado directamente en todos aquellos aspectos relacionados con la seguridad radiológica”

- “El control efectivo de la seguridad radiológica se logra con un esfuerzo cooperativo de todos los niveles de la organización”.
- “La identificación, evaluación y el control de los riesgos radiológicos es responsabilidad del Departamento de Física Médica y del mismo grado de importancia que la calidad de su servicio”.
- “Es política del Departamento de Física Médica, la prevención de accidentes o incidentes relacionados con los riesgos radiológicos”.
- “Es política del Departamento de Física Médica la capacitación continua en todo lo relacionado con los riesgos radiológicos.”
- “Es política del Departamento de Física Médica que anualmente se hagan auditorías exhaustivas de seguridad radiológica.”
- “Es política del Departamento de Física Médica que anualmente se hagan garantías de calidad de los equipos de radiación ionizante.”
- “Es política del Departamento de Física Médica que todo personal ocupacionalmente expuesto, pacientes, estudiantes y toda persona que requiera estar en el área de imagenología cumpla y haga cumplir las políticas de seguridad radiológica.”
- “Tenemos la convicción de que un excelente Departamento de Imagenología por definición es un departamento seguro. Con base en lo anterior estamos comprometidos a minimizar los riesgos a los pacientes, al personal ocupacionalmente expuesto, a las instalaciones, a los equipos y al público en general, es indispensable junto con otros objetivos del Departamento de Imagenología.”
- “Prevenir no solo es mejor y más barato que el corregir. No hay necesidad de conflicto entre consideraciones humanas y de servicios, ganancias y seguridad no están en competencia, por lo contrario la seguridad es un buen negocio.”
- “Salud y seguridad es una política de responsabilidad, de igual importancia que los servicios y la calidad.”
- “La identificación, valoración y control de salud y seguridad y otros riesgos es una responsabilidad del departamento de seguridad radiológica y de igual importancia que la calidad en sus servicios.”
- “En el campo de la salud y la seguridad, buscaremos alcanzar los más altos estándares. No solo se persigue el simple propósito de lograr cumplir con la legislación en curso, la salud y seguridad son nuestro mayor interés, la dirección efectiva de salud y seguridad persigue el menor número de accidentes, involucrando daños y tiempos muertos de trabajo, es una inversión que ayuda a cumplir con nuestros propósitos.”

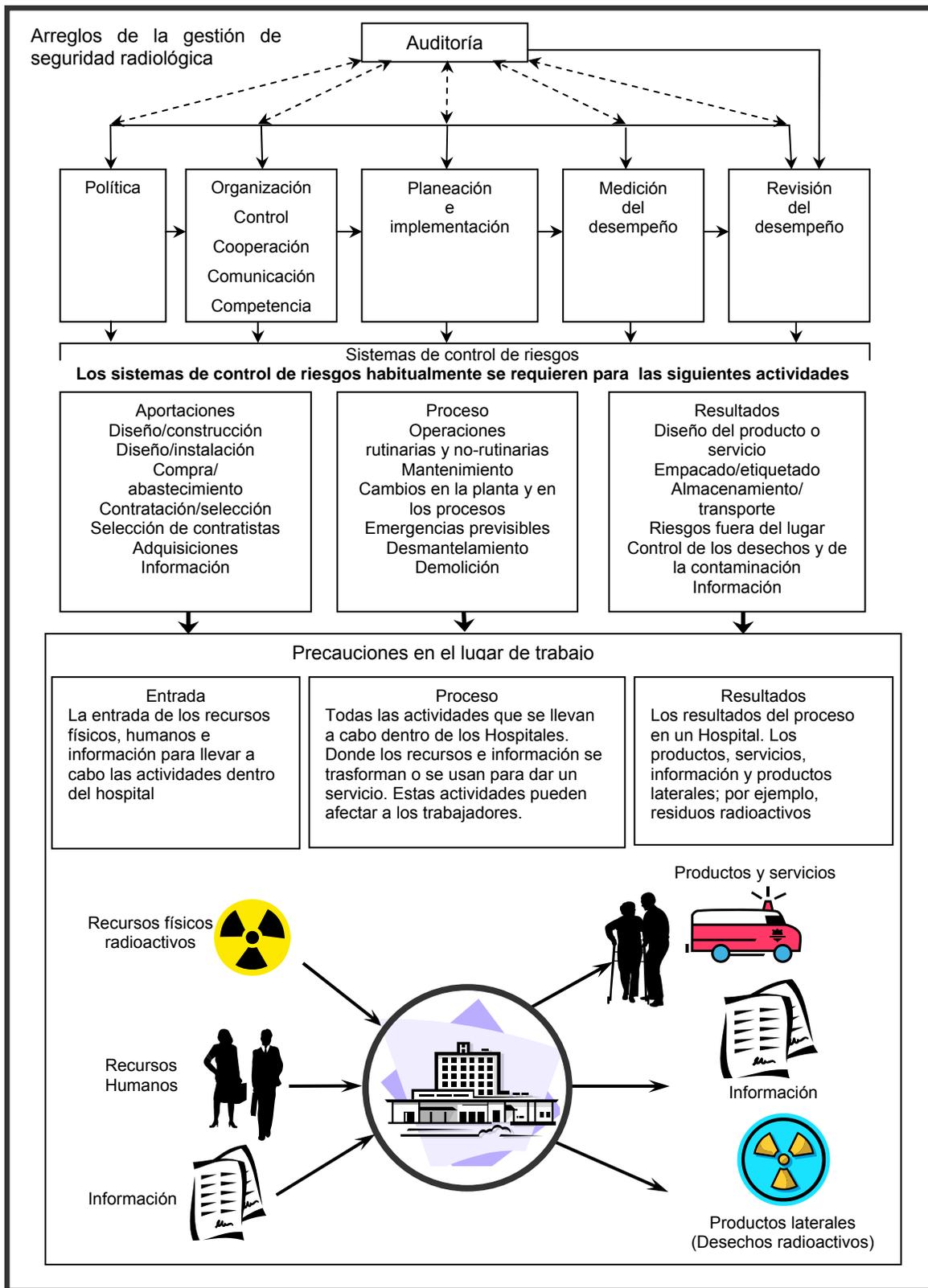


Figura 4.8 Sistema de Gestión de Seguridad Radiológica – SGSR-Departamento de Imagenología

4.4.2 Organización – CONTROL

La Fig. 4.9 muestra un organigrama de la asignación de responsabilidades en relación a la Seguridad Radiológica del Departamento de Imagenología

Aspectos adicionales del SGSR-Imagenología

En la Tabla 4.14 se listan algunos aspectos adicionales importantes que tienen que considerarse como parte del elemento ORGANIZACIÓN del SGSR

Tabla 4.14 Aspectos adicionales del elemento “Organización” del SGSR

ORGANIZACIÓN
<p>COMUNICACIÓN:</p> <ul style="list-style-type: none">• ¿Existen los requerimientos y las prioridades de seguridad relacionados con el peligro de un incidente/accidente y se comunican estos regularmente al personal correspondiente? (ver líneas punteadas en la Figura 4.9)• La comunicación en situaciones críticas, ¿esta asegurada?• ¿Existe un procedimiento establecido y el registro para cambio de turno?• ¿Existe una coordinación y un seguimiento adecuados para los trabajos de mantenimiento?
<p>ADMINISTRACIÓN DE CAMBIOS:</p> <ul style="list-style-type: none">• ¿Los requerimientos de mantenimiento de equipos se evalúan adecuadamente para nuevos proyectos y modificaciones?• ¿Estos requerimientos incluyen los cambios organizacionales como por ejemplo el cambio de un equipo de trabajo?• ¿Los procedimientos y la capacitación se revisan y se modifican en el caso de nuevos proyectos y modificaciones?
<p>APRENDIZAJE ORGANIZACIONAL:</p> <ul style="list-style-type: none">• ¿Existen las evidencias de un compromiso notorio con la mejora continua?• ¿Se asignan recursos para la mejora continua? <p>(Ver Políticas en la sección 4.3.1)</p>

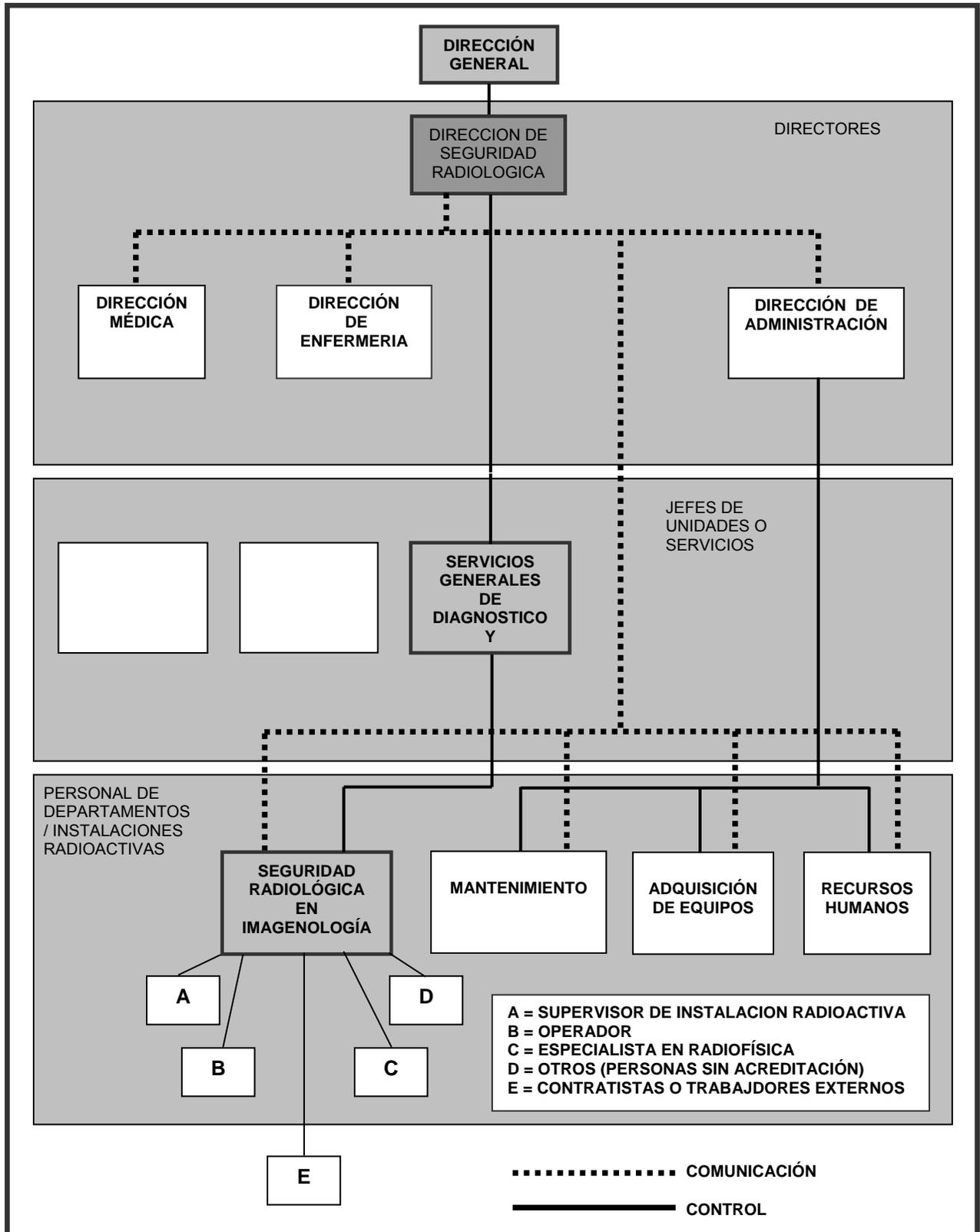


Figura 4.9 Organigrama de la asignación de responsabilidades en relación a la Seguridad Radiológica del Departamento de Imagenología.

En la Tabla 4.15 se listan algunos aspectos importantes que tienen que considerarse como parte del elemento “Planeación e Implementación” del SGSR

Tabla 4.15 Aspectos adicionales del elemento “Planeación e Implementación” del SGSR

PLANEACIÓN E IMPLEMENTACIÓN
<p>PROCEDIMIENTOS Y AUTORIZACIÓN:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Los procedimientos de trabajo son claros? (Ver “Estudio del Caso I”) • ¿El sistema de autorizaciones se diseñó por un estándar aceptado? • ¿Son adecuados los procedimientos de trabajo para las actividades críticas? Esto es, ¿Fueron diseñados en base a un análisis de riesgos? • ¿El personal considera que estos procedimientos son útiles y precisos? • ¿Los procedimientos se revisan regularmente? <p>DISEÑO DEL LUGAR DE TRABAJO:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo está programado el trabajo crítico? (por ejemplo, no puede ser programado al final de una jornada larga de trabajo o en el horario de cambio de turno) • ¿La fatiga del trabajador se toma en cuenta adecuadamente? Por ejemplo: ¿El tiempo - extra se monitorea individualmente? ¿Los límites establecidos en horas son claros? • ¿Se presta suficiente atención al diseño de las tareas de mantenimiento? <p>COMPETENCIA:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Existe un sistema que asegure la competencia (calidad) en cuanto a la seguridad en las actividades críticas? • ¿Existe un sistema que asegure la competencia en cuanto al análisis de riesgos? Por ejemplo, en la evaluación del riesgo de sobreexposición (Ver Figura 4.4) <p>TRABAJO EN EQUIPO:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Existe una división formal o informal en equipos? ¿Esta división se reconoce y administra adecuadamente? • ¿Cómo se administran los equipos temporales, por ejemplo, en el caso del término de trabajo o de las alteraciones mayores? <p>EFFECTIVIDAD DE TRABAJO DE LOS SUPERVISORES:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Los supervisores o líderes de los equipos monitorean adecuadamente las actividades importantes de trabajo? (Ver por ejemplo “Estudio del Caso I”) <p>FACTORES AMBIENTALES:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las condiciones en las que se lleva a cabo el trabajo de mantenimiento de los equipos (por ejemplo, la iluminación, accesibilidad) pueden provocar un mal desempeño, errores y equivocaciones y/o un resultado incompleto. ¿Es considerado por el sistema de gestión de seguridad?

DISEÑO DE INSTALACIÓN Y EQUIPOS:

- ¿Existen las evidencias de que en el diseño o en las modificaciones de la instalación y de los equipos se consideraron las tareas de mantenimiento?

EVALUACIÓN DE RIESGOS:

- Las Figuras 4.10-4.17 muestran en forma muy general los posibles factores causales que pueden contribuir a un incidente/accidente de sobreexposición a las radiaciones. Los árboles de fallas se construyeron para los casos de Radiodiagnóstico (4.10-4.13) y Radioterapia (4.14-4.17)

En la Tabla 4.16 se listan algunos aspectos importantes que tienen que considerarse como parte de los elementos “Medición del Desempeño” y “Auditoría y Revisión” del SGSR

Tabla 4.16 Aspectos adicionales de los elementos “Medición del Desempeño” y “Auditoría y Revisión” del SGSR

“MEDICIÓN DEL DESEMPEÑO”, “AUDITORÍA Y REVISIÓN CONTINUA”
<ul style="list-style-type: none">• ¿Los indicadores de desempeño del trabajador se monitorean continuamente? (Ver Estudio del Caso I)• ¿Existen sistemas reactivos de monitoreo?• ¿Se investigan los incidentes? (ver Estudios de los Casos I y IV)• ¿Se revisan los elementos del SGSR? ¿Con qué frecuencia? ¿Qué tan efectiva es la revisión?• ¿Se llevan a cabo auditorías? ¿Con qué frecuencia? ¿Qué tan efectivas son?

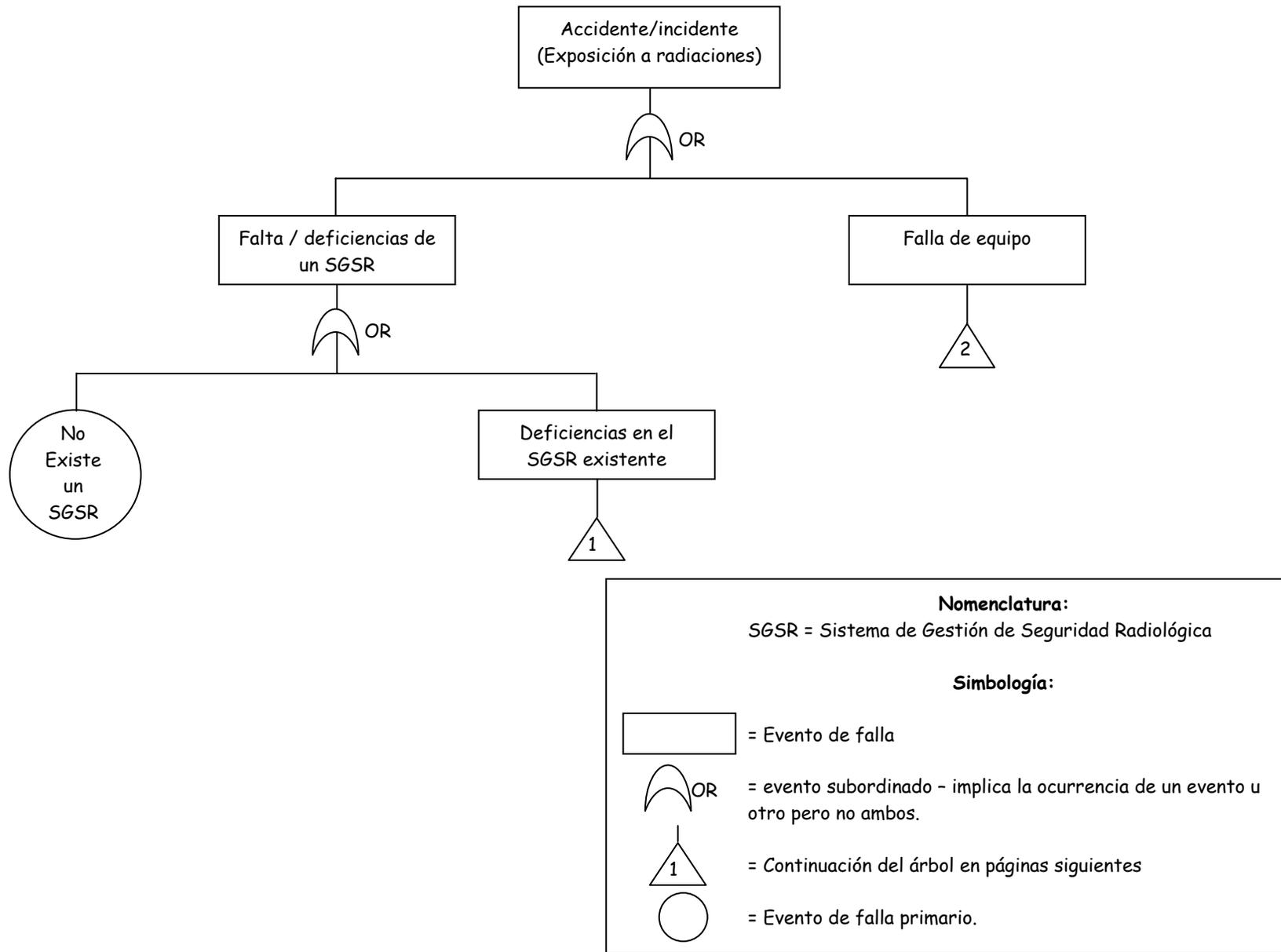


Figura 4.10 Árbol de fallas de posibles factores causales que pueden conducir a la exposición de radiación (incidente o accidente) para el caso de Radiodiagnóstico

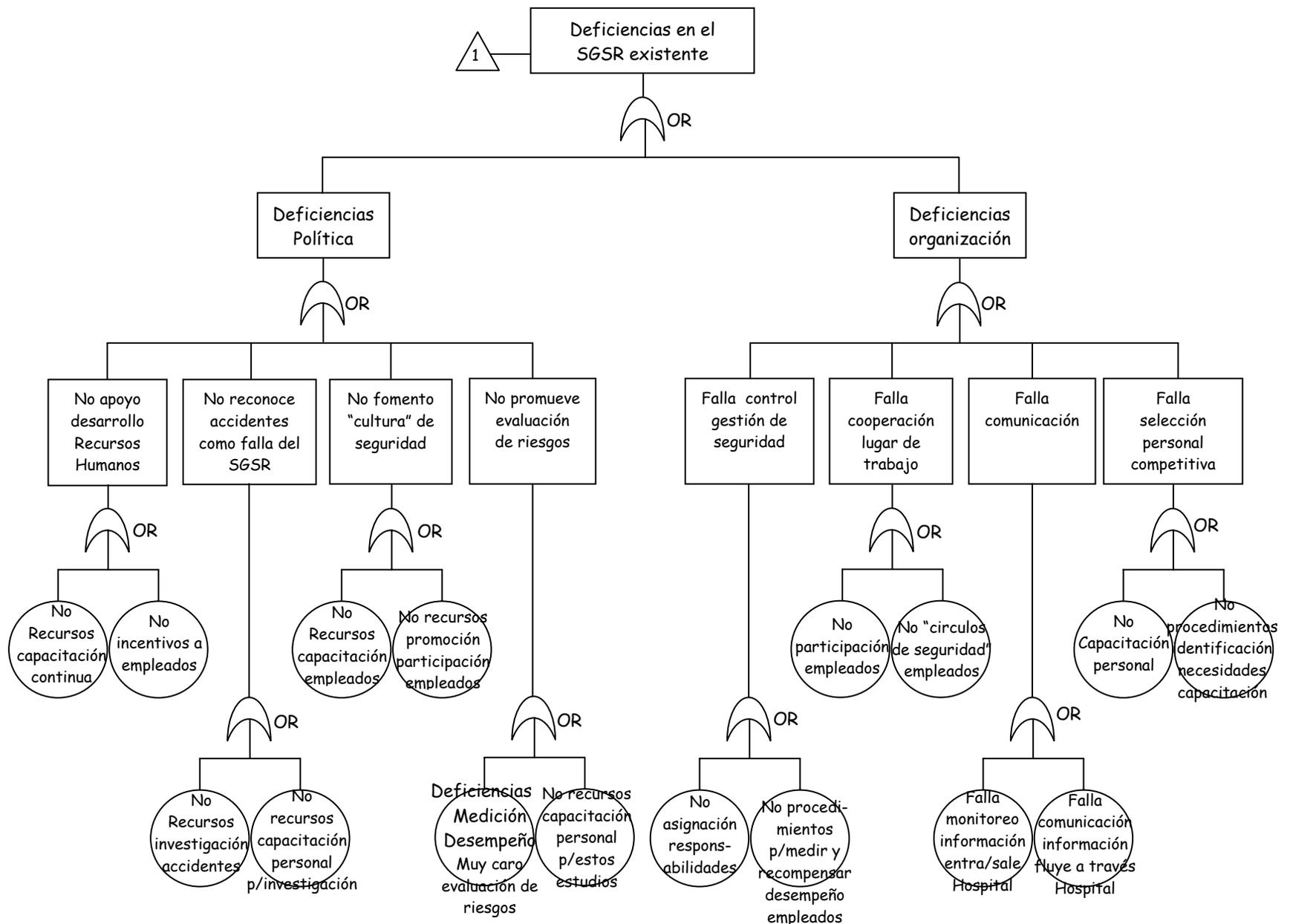


Figura 4.11 Continuación de la Fig.4.10. Caso: Radiodiagnóstico.

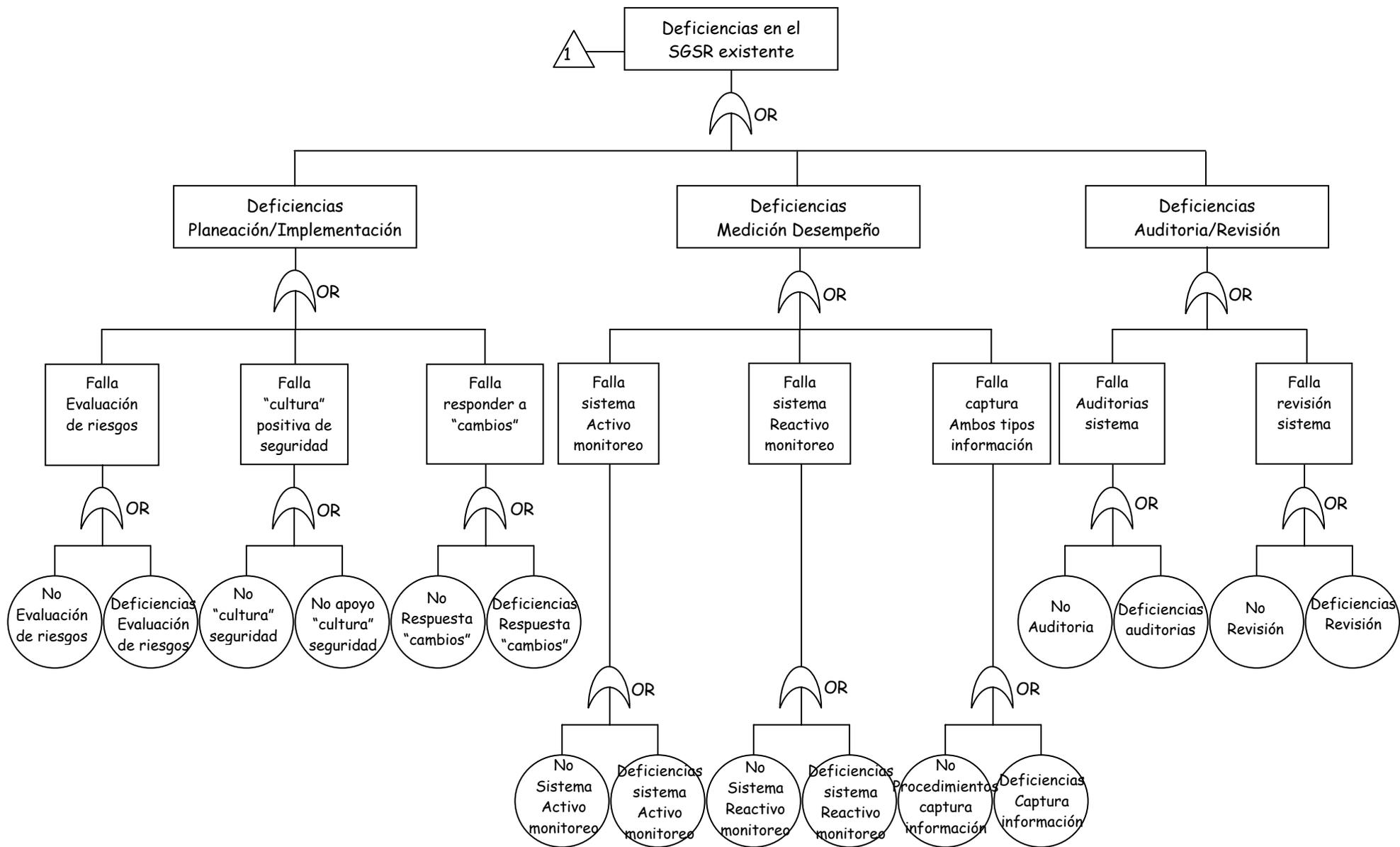


Figura 4.12 Continuación de las Fig. 4.10 y 4.11: Caso Radiodiagnóstico.

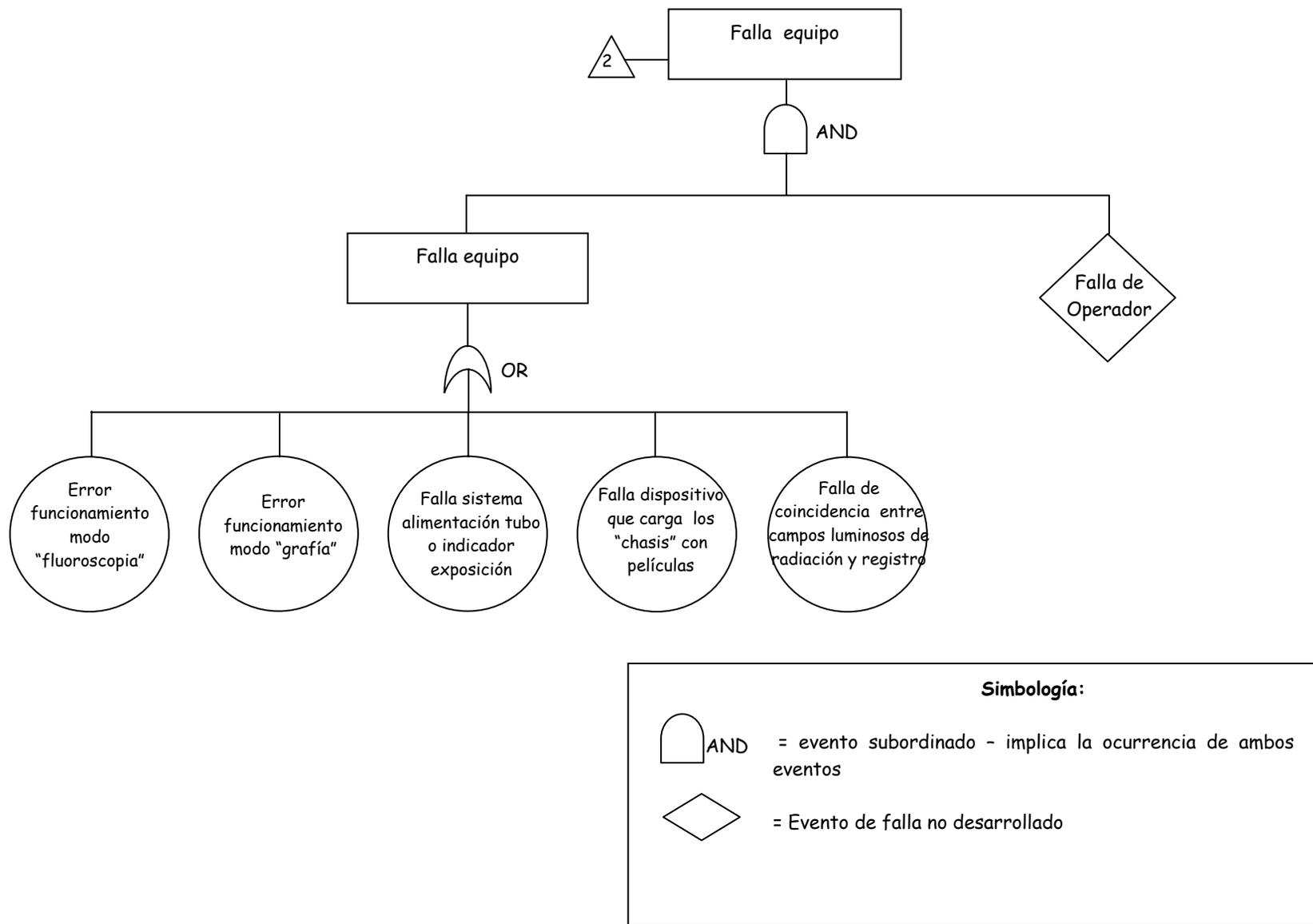


Figura 4.13 Continuación de las Fig. 4.10, 4.11, y 4.12 Caso Radiodiagnóstico.

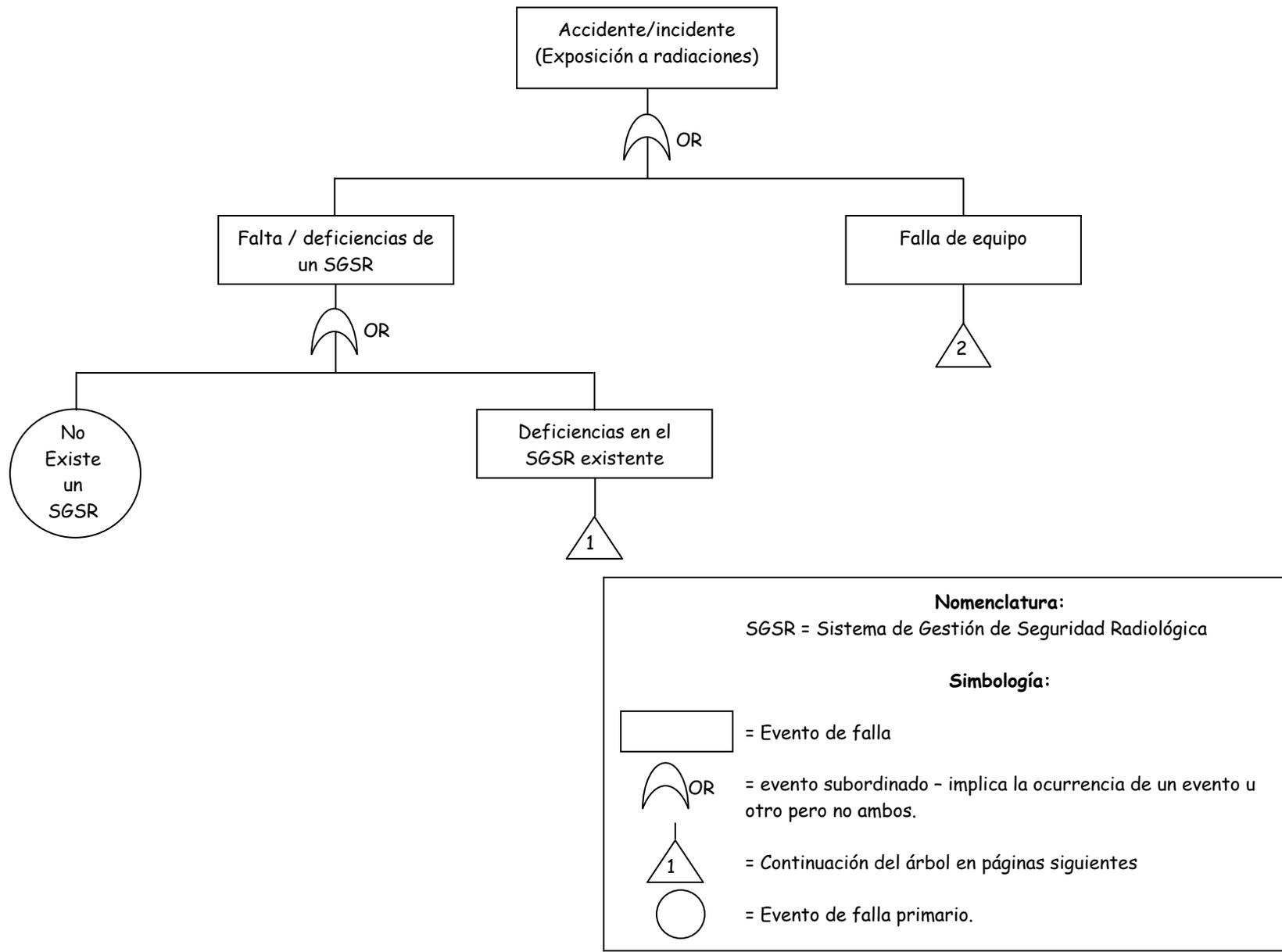


Figura 4.14 Árbol de fallas de posibles factores causales que pueden conducir a la exposición a radiaciones (incidente o accidente) para el caso de Radioterapia

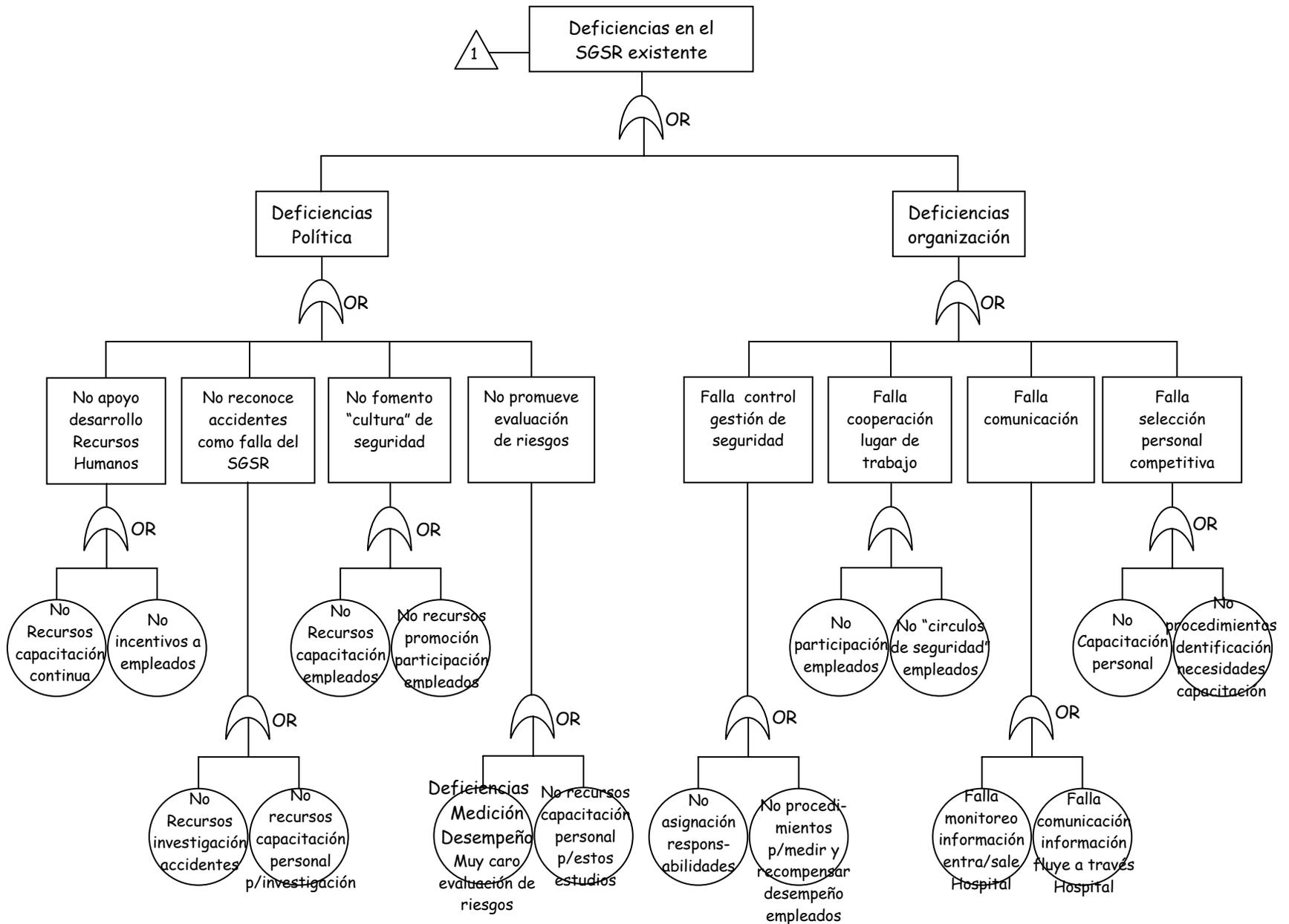


Figura 4.15 Continuación de la Fig. 4.14: Caso Radioterapia.

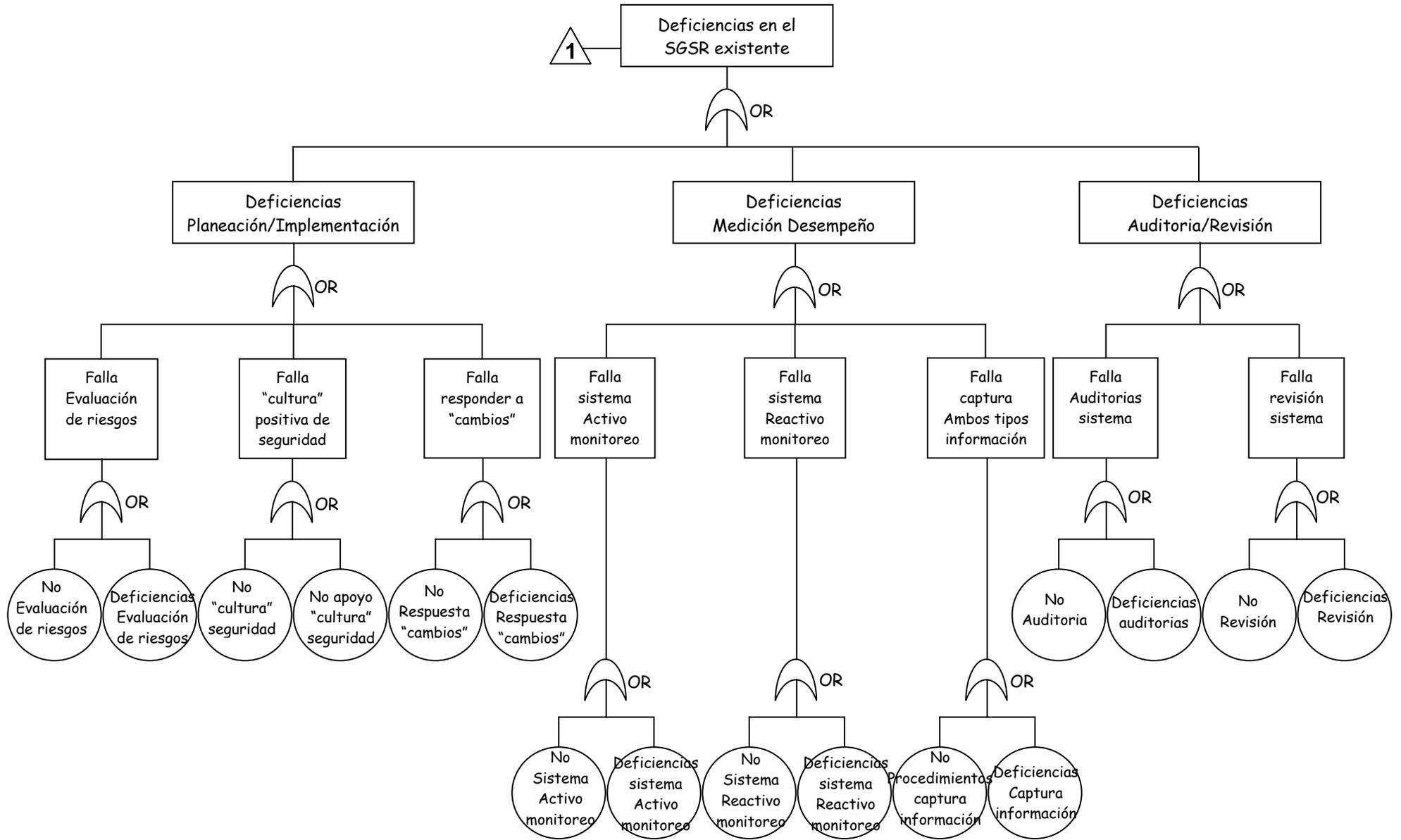


Figura 4.16 Continuación de las Fig. 4.14 y 4.15: Caso Radioterapia.

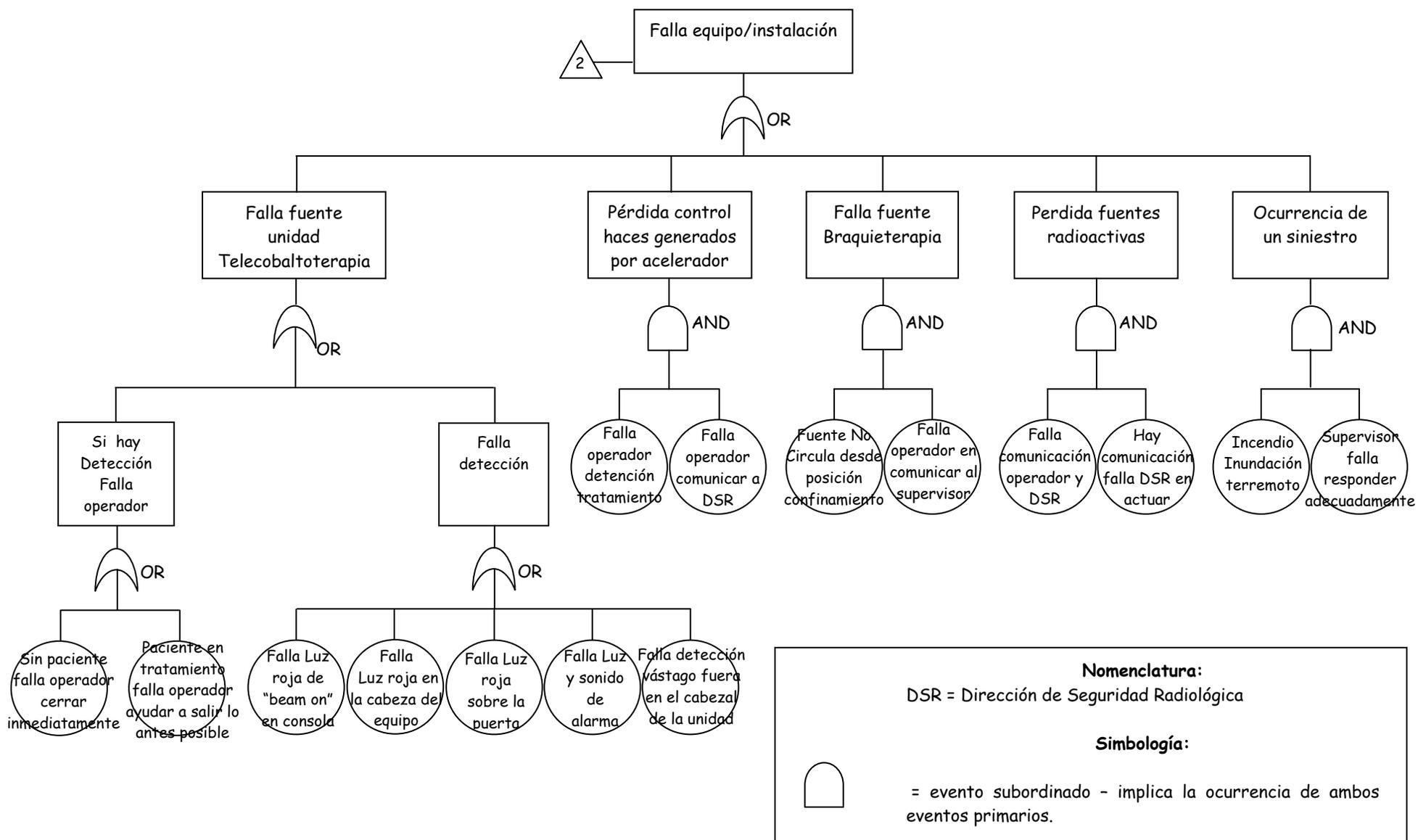


Figura 4.17 Continuación de las Fig. 4.14, 4.15 y 4.16: Caso Radioterapia.

Discusión, Conclusiones, Aportaciones y Futuro Trabajo

En este último capítulo, en forma muy breve se presenta lo siguiente: en la sección 5.1 - una discusión del modelo SGSR desarrollado así como de los conceptos de “seguridad radiológica” y “protección radiológica”. Por otro lado, las conclusiones se presentan en la sección 5.2. Las aportaciones e implicaciones del estudio se describen brevemente en la sección 5.3. Finalmente, el futuro trabajo se presenta en la sección 5.5.

5.1 Discusión

{a} El Sistema de Gestión de Seguridad Radiológica (SGSR)

La medicina es el área que más se ha beneficiado con la implementación de la radiación. Algunas de las aplicaciones de la radiación en la medicina son: radiografía, radioterapia y medicina nuclear. Sin embargo, cada nuevo paso en el conocimiento científico siempre va asociado con un nivel de riesgo y en el caso de la aplicación de la radiación ionizante a la medicina no es la excepción. Un número de accidentes e incidentes han ocurrido en Hospitales en todo el mundo tal y como se describe en el Capítulo 1 y reportados por (Van Dyk, 1999; Wojcick, 2004; Ortiz, 2000; IAEA, 1988, 1990, 1993, 1996, 1998, 2004). Los accidentes han demostrado que los sistemas de gestión de seguridad radiológica existentes cuando ocurrieron fueron inadecuados para prevenir dichos eventos. El presente trabajo propone un Sistema de Gestión de Seguridad Radiológica (SGSR) genérico con aplicación a hospitales y que tiene como objetivo fundamental el de *prevención* de incidentes/accidentes en Hospitales. Para lograr dicho objetivo, todos los elementos que conforman el SGSR (Política, Organización, Planeación e implementación, Medición del desempeño, Auditoría y Revisión del desempeño) tienen que estar implementados y funcionando adecuadamente. Si se cumple lo anterior se puede decir que la probabilidad de que ocurra un accidente es menor que en el caso contrario.

{b} “Seguridad Radiológica” vs “Protección Radiológica”

En general, los términos “seguridad radiológica” y “protección radiológica” causan confusión al menos para ciertos investigadores que trabajan en el área de “seguridad” industrial en general (Beard, 2006; Santos-Reyes, 2006). Las obvias preguntas son: ¿Es lo mismo seguridad radiológica y protección radiológica? Si la respuesta es afirmativa, entonces causa aun más confusión. Por otro lado, a la pregunta ¿Son diferentes? y si son diferentes, ¿cuál es la diferencia? (ver en el Capítulo 2 el objetivo fundamental de la “protección radiológica” de acuerdo a la ICRP (ICRP, 2007)).

Dos conceptos muy útiles que pueden ayudar a clarificar o debatir lo anterior son *protección* y *prevención* (también se introdujeron en el Capítulo 2). *Prevención* y *protección* pueden ser vistos en relación al concepto de un *Evento Crucial*, tal y como se muestra en la Figura 5.1 Todas las medidas relacionadas a la *prevención* pueden ser consideradas como todas aquellas que reducen la probabilidad del *evento crucial*. Por otro lado, las medidas relacionadas con la *protección* pueden ser consideradas como aquellas concernientes a las consecuencias después de un *evento crucial*. (Protección incluye ‘protección total’-no ocurre ningún daño- o ‘mitigación’ – ‘protección parcial’- algún daño puede ocurrir).

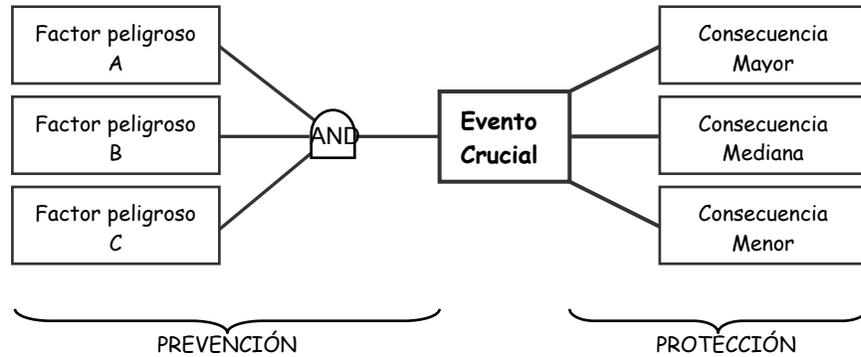


Figura 5.1 Diferencia entre prevención y protección en relación a un evento crucial. El diagrama se debe de leer de izquierda a derecha. El símbolo AND gate significa que todos los tres factores peligrosos tienen que estar presentes para que el evento crucial ocurra. (Beard, 2005; Santos-Reyes, 2006).

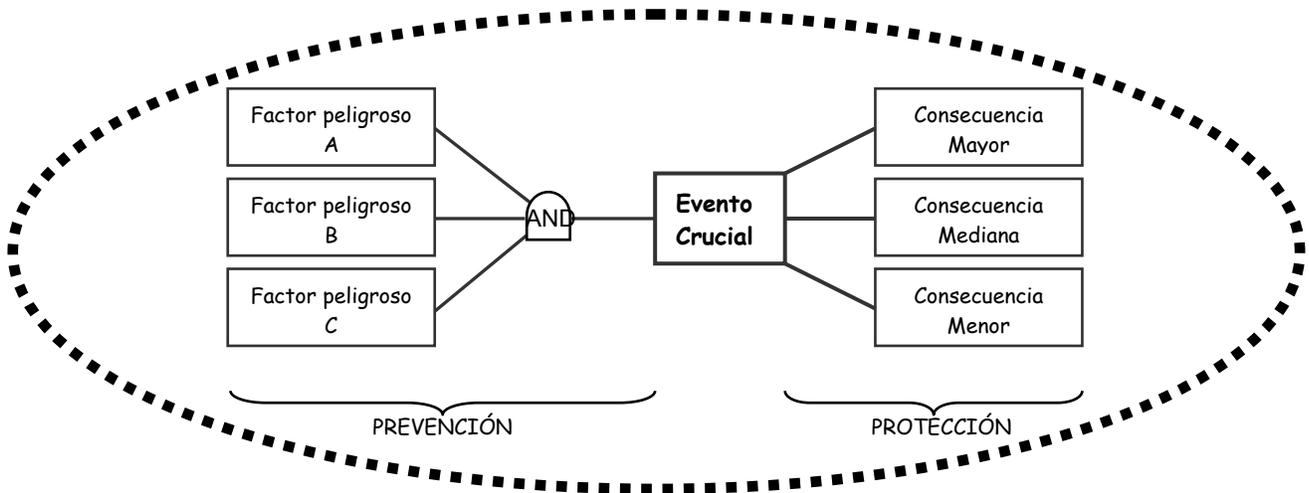


Figura 5.2. El SGSR incluye ambos: *Prevención* y *Protección*.

El SGSR hace énfasis no solamente en la protección pero también en la prevención y esa es una de las consideraciones más importantes de un sistema de gestión de seguridad.

5.2 Conclusiones

5.2.1 Valoración del objetivo general

El objetivo general fue planteado como:

“Construir un modelo de Sistema efectivo de Gestión de la Seguridad Radiológica con aplicación a Hospitales que tenga una capacidad preventiva y de mantener el riesgo radiológico dentro de un rango aceptable”.

En general, se puede concluir que el objetivo general se logró satisfactoriamente.

5.2.2 Valoración de los objetivos específicos

Los objetivos específicos planteados fueron los siguientes:

- *“Llevar a acabo una revisión bibliográfica exhaustiva de toda la información relacionada con riesgos radiológicos en Hospitales. Por ejemplo, la física de la radiación; radiaciones ionizantes; riesgos radiológicos, accidentes e incidentes radiológicos; protección radiológica; sistemas administrativos de seguridad; normatividad vigente a nivel nacional e internacional, entre otros.”*
- *“Modelar un Sistema de Gestión de Seguridad Radiológica (SGSR) basado en el “HSG65” y con aplicación a Hospitales. El SGSR tiene que tener una característica genérica y aplicable a cualquier Hospital”*

De igual manera, los dos objetivos listados anteriormente se cumplieron satisfactoriamente.

5.2.3 Conclusiones acerca del SGSR

El SGSR es un modelo genérico y que tiene un potencial *preventivo* si se aplica y sigue sus lineamientos; esto es, si todas las funciones son implementadas y cumplidas al pie de la letra creemos que puede ayudar a prevenir accidentes/incidentes en Hospitales. Sin embargo, todavía hay mucho trabajo por hacer; esta es una primera etapa de un proyecto más grande en relación a la mejora y aplicación de dicho modelo (ver sección 5.5).

5.2.4 Conclusiones acerca del caso de aplicación

La limitación más grande fue la falta de tiempo para modelar un SGSR-RX completo en el Departamento de Imagenología. Sin embargo, se considera como futuro trabajo.

Por otro lado, aunque los cinco casos de estudio descritos en el Capítulo 4 parecen ser muy simples, en realidad fueron muy útiles, ya que ayudaron a entender y obtener percepciones del lugar de trabajo.

5.3 Aportaciones e Implicaciones del estudio

5.3.1 Aportaciones

La aportación más grande del presente trabajo fue la de proponer un Sistema de Gestión de Seguridad Radiológica (SGSR) al Departamento de Imagenología de un Hospital de servicios del DF, ya que dicho Hospital y departamento NO contaba, ni cuenta actualmente, con sistema de las características del SGSR propuesto.

5.3.2 Implicaciones del estudio

Una de las implicaciones del estudio es el hecho de que dio la oportunidad de conocer la percepción del riesgo radiológico en el Departamento de Imagenología de un Hospital de la Capital de la República y fue realmente interesante. En primer lugar, porque de alguna manera se comprobó que hay muchas limitaciones en los sistemas de protección radiológica existentes en este Hospital en particular. Por ejemplo, cuando se llevó a cabo una encuesta en este Hospital los resultados fueron alarmantes en el sentido de que no se cuenta con un sistema de gestión de seguridad radiológica (ver Capítulo 4). En los cuestionarios mostrados en el Anexo A se puede apreciar, por ejemplo, que los médicos y trabajadores no están familiarizados con las normas y procedimientos más básicos de protección radiológica. De lo anterior surgen las siguientes preguntas:

- Si hay deficiencias en un Hospital de la importancia del caso de estudio ¿Cómo será la seguridad radiológica de hospitales en las provincias de la República?
- ¿Cómo son las medidas de seguridad radiológica en los centros de servicio de RX privados existentes en el DF y en provincia?
- ¿Cuál es la probabilidad de que, Ud., miembros de su familia, miembros de mi familia, amigos, amigas, hijos, hijas, médicos, trabajadores, y Yo sufran un incidente o accidente radiológico? – cuando tengamos la necesidad de un servicio o bien cuando avistemos a nuestros seres queridos.

5.4 Futuro trabajo

- Implantación del modelo al caso de aplicación.
- Estudios de evaluación de riesgos para diseñar precauciones en el lugar de trabajo.
- Estudios de evaluación de riesgos para el diseño de sistemas de control de riesgos radiológicos (SCRR).
- Evaluación de riesgos de sobreexposición de pacientes.
- Más discusión y debate acerca de los conceptos de “Seguridad Radiológica” y “Protección Radiológica”
- Entre otros.

BIBLIOGRAFÍA

- Andreas, W. (1999). Wake up call. *The Scotsman*, May 22, 1-2.
- Anjana, A. (1997). Accidents and the human factor. *The Times*, Jan 27, 17.
- ASCOT Guidelines IAEA - TECDOC - 860 (revisión aparecida en enero de 1996)
- Beard, A.N. (2005). Problems with using models for fire safety, contained in *The Handbook of Tunnel Fire Safety*, edited by Alan Beard & Richard Carvel, Thomas Telford, London.
- Bird F.E. & Germain, G.L. Practical loss Leadership. Institute Publishing. Loganville, Georgia 1985.
- Brandan, M. E., Perches, R.D., y Ostrosky, P. la radiación al servicio de la vida. *Ciudad Universitaria*, enero de 1990.
- BS 8800 (1996) Guide to occupational health and safety management systems. British Standard 8800 (BS 8800). British Standard Institute, UK.
- BSI. (2004). "Environmental management systems – Requirements with guidance for use. British Standard Institute, UK.
- Cardona, V. (2005). Peligro en medicina nuclear del Siglo XXI-Las tranzas de Lira Carreón y Diaz Torres- Burlan disposiciones de la CNSNS. *Imagen Médica* (www.imagenmedica.com.mx). (10-octubre-2007).
- CNSNS (Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias). (<http://www.cnsns.gob.mx>). (10 octubre 2007).
- CNSNS. Reglamento General de Seguridad Radiológica. CNSNS. Noviembre, 1988.
- Criterios del Premio Nacional a la Calidad (Ley N° 24.127)
- Cruz, A. Aún no funciona la unidad de medicina nuclear del IMSS-evaden autoridades atender a contaminados con yodo radiactivo, *La Jornada*, Viernes 28 de febrero de 2003. (www.lajornada.unam.mx). (10 octubre 2007).
- Directiva 96/29EURATOM. Normas básicas para la protección sanitaria de los trabajadores y de la población contra los riesgos que resultan de las radiaciones ionizantes. DOCE L 159, 29 de junio de 1996.
- Directiva 97/29EURATOM. Protección del paciente. DOCE L 180, 29 de julio de 1997.
- Ester, M., Perches-Brandan, R. D., y Ostrosky, P. (1995). La radiación al servicio de la vida. *Ed. Fondo de Cultura Económica*, ISBN 9681669371.
- Ferrer, I. Holanda investiga si un error Hospitalario infectó de sida o hepatitis a 500 personas. *El País*. 31/08/2007. (www.elpais.com). (10 octubre 2007).
- Fortune, J., and Peters, G. (1995). Learning from failure-The systems approach. Wiley.
- G. D. Frey, P. Sprawls. "The expanding role of medical physics in diagnostic imaging". American Association of Physicists in Medicine. Proceedings of the 1997 summer school.
- Gonzalez, J. L. (2003). Saldos del atentado con material radioactivo retira la CNSNS licencia al responsable y permiso al IMSS. *Imagen Médica* (www.imagenmedica.com.mx)
- Gonzalez, J. L. Saldos del atentado con material radiactivo-Retira la CNSNS licencia al responsable y permiso al IMSS. *Imagen Médica*. 3 enero 2003. (<http://www.imagenmedica.com.mx>) (10 octubre 2007).
- Guillaume, Lalande, F. y Seligman, M. D. Resumen del informe ASV No 2006 ENSTR 019 – IGAS No RM 2007- 015P, sobre el accidente de radioterapia de Epinal. WACK (ASN), y Inspección General de Asuntos Sociales, Febrero de 2007.
- Hernando, A. Curso sobre "Radiología Digital. Sociedad Española de Física Médica. Ed. I. Hernando, M. Alonso. SEFM, 2002
- IAEA Basic Safety Standards 115. IAEA.
- IAEA, Safety Series N° 75 - INSAG - 1/ 1986 (Post-Accident Review Meeting on the Chernobyl Accident)

IAEA, Safety Series N° 75 - INSAG - 4 / 1991 (Safety Culture)

IAEA. Accidental overexposure of radiotherapy patients in Bialystok. *IAEA*. Vienna, Austria, 2004.

IAEA. Colección Seguridad No. 115. Organismo Internacional de Energía Atómica. Viena 1997. Normas básicas internacionales de Seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación. 1997.

IAEA. Developing and using dose guidance levels in radiology and nuclear medicine examinations. In radiological protection of patients in diagnostic and interventional radiology, nuclear medicine and radiotherapy. *IAEA*. 2001.

IAEA. Lessons learned from accidents in radiotherapy. *IAEA*. Safety report.

IAEA. TECDOC. 1000. Clearance of materials resulting from the use of radionuclides in medicine, industry and research. 1998.

IAEA. TECDOC. 796. Radiation doses in diagnostic radiology and methods for dose reduction, 1995.

IAEA. The accidental overexposure of radiotherapy patients in San José, Costa Rica. *IAEA*. Vienna, 1998.

IAEA. The radiological accident in Goiania. *IAEA*. Vienna, 1998.

IAEA. The radiological accident in Hanoi. *IAEA*. Vienna, 1996.

IAEA. The radiological accident in Nesvizh. *IAEA*. Vienna, 1996.

IAEA. The radiological accident in San Salvador. *IAEA*. Vienna, 1990.

IAEA. The radiological accident in Soreq. *IAEA*. Vienna, 1993.

IAEA. The radiological accident in Tammiku. *IAEA*. Vienna, 1998.

ICRP Publicación 60. (www.icrp.org).

ICRP Publicación 73. (www.icrp.org).

ICRP. Accidental exposure in medical applications. *ICRP*. <http://www.icrp.org/>. (29-12-2007).

ICRP. Avoidance of radiation injuries from intervention procedures. ICRP Publication 85. Annals of the ICRP-30, No.2. Pergamon Press, Oxford. 2000.

ICRP. Publicación 60. Recomendaciones de la ICRP, (19). Publ. SERP, No. 1.

ICRP. Publicación 73. (Annals of the ICRP Vol. 26, No. 2, 1996) Radiological protection and safety in Medicine.

ICRP. Publicación 75. (Annals of the ICRP. Vol. 27, No. 1, 1997) general principles for the radiation protection of workers.

ICRP. Publicación 77. (Annals of the ICRP, Vol. 27. Supplement 1998) radiological protection policy for the disposal of radioactive waste.

ICRP. Publication 84. (Annals of the ICRP, Vol. 30. 2000) Pregnancy and medical radiation.

ICRP. Radiological protection and safety in medicine. ICRP Publication 73. Annals of the ICRP, 26, No. 2. Pergamon Press, Oxford. 1996.

INS. Manual General de Protección radiológica. Instituto nacional de Salud. Ministerio de Salud y Consumo. Publicación No. 1627. 1995. España.

IRID. A5 use and servicing of X-ray equipment. *Ionizing Radiation Incident Database*. UK.

J.A. Rowlands. "Digital alternatives to screen-film techniques". RSNA refresher course 626. 1996

J.A. Seibert "Physics of computed radiography". RSNA refresher course 121. 1996

J.A. Seibert, L.J. Filipow, K.P. Andriole. "Practical digital imaging and PACS". American Association of Physicists in Medicine. Medical Physics Monograph No. 25 (1999).

Kaoru Ishikawa Control Total de la Calidad

- Kington, T. *The Guardian*, May 7, 2007.
- National Research Council. (1994). *Minding the helm: advances in navigation and piloting*. Washington DC: national Academy Press.
- Normas ISO 9001 y 9004 versión 2000
- OHSAS 18001 (1999) Occupational Health and Safety Management. British Standard Institute, UK.
- Ortiz, P. Oresegum, M. Wheatley, J. Lessons learned from accidental exposures in radiotherapy. *IEA*, 2000.
- P. Vuylsteke, E. Schoeters “Image processing in computed radiography”. *Computerized tomography for industrial applications and image processing in radiology. DGZfP Proceedings BB 67-CD Paper 16. 1999*
- Perrow, C. (1984). *Normal accidents: living with high risk technologies*. New York: Basic Books.
- Reason, J. (1990). The contribution of latent human failures to the breakdown of complex systems. *Philos Trans Roy Soc London*, 327, 475-84.
- Reason, J. (1997). *Managing the risk s of organizational accidents*, Ashgate.
- Santos-Reyes, J. *Curso de Evaluación de riesgos. SEPI-ESIME, Zacatenco, IPN. Mexico. 2007.*
- Serge Prêtre, *Revista “Seguridad Radiológica” Número 18, junio del 2000*
- T.M. Bogucki, D.P. Trauernicht. “Characteristics of a storage phosphor system for medical imaging”. *Technical and scientific monograph No. 6. Kodak Health Sciences 1995.*
- Tozer, J., y Hope, J. The women sentenced to die by arrogance. *Daily Mail*. 2nd February 2007.
- UNSCEAR. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. <http://www.unscear.org/unscear/index.html>. 2007.
- Van Dyk J. *The modern technology of radiation oncology: a compendium for medical physicists and radiation oncologists*. (Madison, WI: medical Physics Publishing), 1999.
- Wojcik, A., Cosset, J.M., Clough, K. Gourmelon, P. The radiological accident at the Bialystok oncology centre: cause, dose estimation and patient treatment. *In proc. 11th International IRPA Congress*, Madrid, Spain, 23-28 May 2004.

Definiciones y conceptos

Accidente y/o incidente: Cualquier evento anormal que involucre a fuentes de radiación ionizante.

Acelerador: Máquina usada para aumentar la energía cinética de las partículas cargadas, acelerándolas con campos eléctricos.

Actividad: El número de transiciones nucleares espontáneas que ocurren por unidad de tiempo en una cantidad dada de material radiactivo. Formalmente, la actividad A , de una cantidad dada de material radiactivo, es el cociente de dN entre dt , siendo dN el número de transiciones nucleares espontáneas que ocurren en el intervalo dt . La unidad de actividad es el becquerel (Bq), donde $1 \text{ Bq} = 1 \text{ desintegración/s}$ ($1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ desintegraciones/s}$).

ALARA: (As Low As Reasonably Achievable) traducido al español como tan bajo como razonablemente sea posible, tomando en consideración las condiciones sociales, económicas.

Almacén en tránsito: Las áreas utilizadas durante el transporte de material radiactivo en las que se almacenen embalajes, contenedores, bultos y las zonas no controladas, tales como: área de estacionamiento; estación terminal; cuarto de almacén o patio de carga y descarga.

Almacén temporal: La instalación radiactiva autorizada por la Comisión para almacenar fuentes de radiación ionizante por tiempo limitado y que será necesariamente determinado en forma expresa en la autorización correspondiente.

Átomo: La porción más pequeña de un elemento que puede existir y retener todas las características físicas y químicas del elemento. Consiste en un núcleo con carga eléctrica positiva rodeado por uno o más electrones con carga negativa.

Auditoría: El examen de los registros, documentos, programas y procedimientos relacionados con la seguridad radiológica de la instalación radiactiva, así como del inventario de material radiactivo o los equipos que lo contengan conforme a lo establecido en la autorización, permiso o licencia correspondiente, así como en las disposiciones de este Reglamento.

Autoridad competente: Organismo oficial al que corresponde, en el ejercicio de las funciones que tenga atribuidas, conceder autorizaciones, dictar disposiciones o resoluciones y obligar a su cumplimiento.

Autorización: Permiso concedido por la autoridad competente de forma documental, previa solicitud, o establecido por la legislación española, para ejercer una práctica o cualquier otra actuación dentro del ámbito de su aplicación.

Blindaje: Material empleado para atenuar la intensidad de las radiaciones ionizantes al interponerse en su trayectoria.

Braquiterapia: Tratamiento terapéutico con fuentes radiactivas ubicadas a corta distancia (pocos centímetros) o insertadas dentro del tejido a irradiar.

Campo de rayos X (campo de radiación): Área definida por la intersección del haz útil de radiación y el plano, perpendicular al eje del haz, donde se encuentra el punto de interés para la medición o estudio a realizar.

Cáncer: Crecimiento exagerado y anormal de células que pierden su función y que son capaces de invadir otros tejidos y reproducirse en ellos.

Contaminación radiactiva: Presencia indeseable de radionucleidos en una materia, una superficie, un medio cualquiera o una persona. En el caso particular del organismo humano, esta contaminación puede ser externa o cutánea, cuando se ha depositado en la superficie exterior, o interna cuando los radionucleidos han penetrado en el organismo por cualquier vía (inhalación, ingestión, percutánea, etc.).

Control automático de exposición (CAE): Dispositivo que controla automáticamente uno o más de los factores técnicos con objeto de producir en un lugar preseleccionado una cantidad determinada de radiación.

Cromosoma: Estructura en forma de hilo, constituido por ADN y proteínas, contiene un conjunto de genes. El número de cromosomas es característico de la especie.

Cuarto oscuro: Área de la instalación donde se lleva a cabo la preparación y el procesamiento de películas o placas radiográficas, a fin de obtener las imágenes para los estudios de diagnóstico médico con rayos X.

Cultura de seguridad: Conjunto de valores éticos y actitudes que rigen la conducta de los individuos y de las organizaciones, para dar a la protección y a la seguridad radiológica la más alta prioridad, asegurando así que reciban la atención adecuada y oportuna que demanda su importancia.

Curie: Unidad de medición de la actividad de una muestra radiactiva. Es igual a 37 mil millones de decaimientos radiactivos por segundo.

Decaimiento radiactivo: Emisión espontánea de radiación por núcleos radiactivos.

Descontaminación: Proceso mediante el cual se reduce o se elimina la contaminación radiactiva. Desechos radiactivos: Cualquier material que contenga o esté contaminado con radionúclidos o concentraciones o niveles de radiactividad, mayores a las señaladas por la Comisión en la norma técnica correspondiente y para el cual no se prevé uso alguno. Se clasifican en desechos radiactivos de nivel bajo, intermedio y alto.

Desecho radiactivo. Toda sustancia radiactiva que se produce como consecuencia de un uso de la radiación o los radioisótopos y que no es utilizada. Existen normas estrictas sobre el manejo de los desechos para evitar que contaminen el medio ambiente.

Diagnóstico: Parte de la medicina que tiene por objeto la identificación de una enfermedad fundamentándose en los síntomas y signos de ésta.

Dispositivo generador de radiación ionizante: Es el equipo que produce radiación ionizante en forma controlada.

Dosímetro: Dispositivo, instrumento o sistema que puede utilizarse para medir o evaluar cualquier magnitud que pueda estar relacionada con la determinación de la dosis absorbida o equivalente.

Dosis absorbida: La energía depositada por la radiación ionizante en la materia. Técnicamente, la dosis absorbida, D , se define como el cociente de dE entre dm , donde dE es la energía promedio depositada por la radiación ionizante en una masa dm . La unidad es el gray (Gy), donde: $1 \text{ Gy} = \text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ($1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Dosis efectiva (E): La suma de las dosis equivalentes ponderadas en todos los tejidos y órganos del cuerpo a causa de irradiaciones externas e internas. La unidad para la dosis efectiva es el Sievert (Sv).

Dosis equivalente (HT): Dosis absorbida, en el tejido u órgano T , ponderada en función del tipo y la calidad de la radiación R . La unidad para la dosis equivalente es el Sievert (Sr).

Dosis umbral: El valor de la dosis por debajo del cual se considera que un efecto no estocástico determinado no se manifestará.

Efectividad biológica: Factor de comparación entre las dosis absorbidas de radiaciones diferentes que causan un mismo efecto biológico. Vale uno para rayos X y gamma, y más de uno para otras partículas.

Efectos deterministas: Efectos biológicos de la radiación que se presentan sólo cuando se rebasa la dosis umbral específica para ese efecto y cuya severidad es función de la dosis absorbida.

Efectos estocásticos: Efectos biológicos de la radiación para los cuales no existe una dosis umbral, sino que la probabilidad de que se produzcan, es función de la dosis absorbida y cuya severidad es independiente de la dosis.

Efluentes radiactivos: Productos radiactivos residuales en forma líquida o gaseosa.

Electrón: Partícula elemental, con carga eléctrica negativa, que es uno de los constituyentes del átomo.

Emergencia radiológica: Situación que requiere medidas urgentes con el fin de proteger a los trabajadores, a los miembros del público o a la población, en parte o en su conjunto.

Emplazamiento: El proceso de selección de un sitio adecuado para la localización de una instalación radiactiva y la determinación de las características físicas y demográficas del mismo, a fin de evaluar y definir adecuadamente las bases para el diseño, construcción y operación de las mismas, con el objeto de que éstas no se traduzcan en un detrimento apreciable de la seguridad de las personas ni de la calidad del ambiente.

Empresa externa: Cualquier persona física o jurídica, distinta del titular de la instalación, que haya de efectuar actividades de cualquier tipo en una zona controlada de una instalación nuclear o radiactiva.

Energía: Capacidad de efectuar un trabajo.

Equipo de rayos X: Dispositivo generador de rayos X destinado a realizar estudios de diagnóstico médico. Este puede ser fijo, diseñado para permanecer dentro de una sala o cuarto destinado específicamente para realizar dichos estudios, o móvil diseñado para poder transportarse, manualmente o por medios motorizados a las diferentes áreas donde sean requeridos dichos estudios dentro de una misma instalación.

Equipo portátil de rayos X: Equipo de rayos X diseñado para transportarse manualmente.

Equivalente de dosis efectivo comprometido: El equivalente de dosis efectivo comprometido, HE,50, resultante de una incorporación de material radiactivo, es el equivalente de dosis efectivo que se acumulará durante 50 años, como resultado de la incorporación.

Equivalente de dosis: Con fines de protección radiológica se ha encontrado conveniente introducir una magnitud física que correlaciona la dosis absorbida con los efectos deletéreos más importantes de la exposición a la radiación, en particular con los efectos estocásticos tardíos. El equivalente de dosis es la cantidad que resulta de la ecuación: $H = DQN$, donde D es la dosis absorbida en Gy, Q es el factor de calidad y N es el producto de todos los demás factores modificantes, tomándose por ahora un valor para N igual a la unidad. El nombre especial para la unidad de equivalente de dosis es el sievert (Sv).

Especialista en Radiofísica Hospitalaria: Titulado superior que posee la especialidad médica de Radiofísica hospitalaria

Estudiantes o personas en formación: Personas que en el seno o fuera de una empresa reciben una formación o enseñanza para ejercer un oficio o profesión, relacionado directa o indirectamente con actividades que pudieran implicar exposición a radiaciones ionizantes.

Evento crucial: es un evento el cual puede conducir a un daño.

Exposición accidental: Exposición de personas como resultado de un accidente, aunque no dé lugar a superación de alguno de los límites de dosis establecidos. No incluye la exposición de emergencia.

Exposición de emergencia: Exposición voluntaria de personas que realizan una acción urgente necesaria para prestar ayuda a personas en peligro, prevenir la exposición de un gran número de personas o para salvar una instalación o bienes valiosos, que podría implicar la superación de alguno de los límites de dosis individuales establecidos para los trabajadores expuestos.

Exposición externa: Exposición del organismo a fuentes exteriores a él.

Exposición interna: Exposición del organismo a fuentes interiores a él.

Exposición médica: La recibida por los pacientes con motivo de su propio diagnóstico o tratamiento médico, o por personas que los ayudan voluntariamente y no son ocupacionalmente expuestas.

Exposición ocupacional: Exposición de los trabajadores durante el desarrollo de su trabajo, con la excepción de las excluidas del alcance de este MPR y las procedentes de fuentes y prácticas exentas de declaración y autorización según la legislación aplicable.

Exposición parcial: Exposición localizada esencialmente sobre una parte del organismo o sobre uno o más órganos o tejidos, o la exposición del cuerpo entero no homogénea.

Exposición perdurable: Exposición resultante de los efectos residuales de una emergencia radiológica o del ejercicio de una práctica o actividad laboral del pasado.

Exposición potencial: Exposición que no se prevé que se produzca con seguridad, sino con una probabilidad de ocurrencia que puede estimarse con antelación.

Exposición: Acción y efecto de someter a las personas a las radiaciones ionizantes.

Fluoroscopia: Técnica en la que el haz útil de rayos X, después de atravesar el cuerpo del paciente, produce una imagen dinámica.

Fuente encapsulada: Fuente constituida por radionucleidos sólidamente incorporadas en materias sólidas inactivas o bien en el interior de envolturas inactivas con una resistencia suficiente para evitar, en condiciones normales de utilización, toda dispersión de material radiactivo.

Fuente no encapsulada: Fuente cuya presentación y condiciones normales de utilización no permiten prevenir la dispersión de la sustancia radiactiva (caso de gas, líquido y polvo radiactivo de utilización en Medicina Nuclear o en laboratorio).

Fuente: Equipo o sustancia capaz de emitir radiaciones ionizantes.

Fuentes artificiales: Fuentes de radiación distintas de las fuentes naturales de radiación.

Fuentes de radiación ionizante: Cualquier dispositivo o material que emita radiación ionizante en forma cuantificable.

Fuentes naturales de radiación: Fuentes de radiación ionizante de origen natural, terrestre o cósmico.

Gammacámara: Equipo que permite obtener imágenes de un órgano al que previamente se ha incorporado un radionucleido.

Gammateca (Cámara caliente): Zona donde se almacena material radiactivo para su posterior utilización.

Garantía de la calidad: Actividades planificadas y sistemáticas, implantadas y comprobadas para proporcionar confianza suficiente en que una estructura, sistema o componente va a funcionar a satisfacción cuando esté en servicio. Funcionar a satisfacción en servicio implica que pueda obtenerse la calidad óptima en todo el proceso de diagnóstico, es decir, que se produzca en todo momento una información de diagnóstico adecuada, y con una exposición mínima del paciente y del personal.

Gray (Gy): Nombre especial de la unidad de dosis absorbida en el Sistema internacional de medidas (S.I.). Un gray es igual a un julio por kilogramo: $1\text{Gy} = 1\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$

ICRP. Comité Internacional de Protección Radiológica.

Inspección: El examen de las condiciones de seguridad física y radiológica de una instalación radiactiva, sus sistemas, equipos y la aplicación de los procedimientos de operación, documentos y registros.

Instalación móvil para diagnóstico médico con rayos X: Vehículo automotor o remolque en cuyo interior se encuentra instalado un equipo de rayos X.

Instalación radiactiva o radiológica: Instalación de cualquier clase que contenga una fuente radiactiva o un aparato productor de radiaciones ionizantes.

Intervención: Actividad humana que evita o reduce la exposición de las personas a la radiación procedente de fuentes que no son parte de una práctica o que están fuera de control. Dicha actuación tiene lugar sobre las fuentes, las vías de transferencia y las propias personas.

Ionización: Formación de iones a partir de átomos o moléculas, para lo cual es necesario transferir una determinada energía.

Irradiar: Someter un cuerpo a algún tipo de radiación.

Jefe de Servicio o Unidad Técnica de Protección Radiológica: Persona responsable o al frente de un Servicio o Unidad Técnica de Protección Radiológica, que será acreditada a tal efecto, mediante un diploma expedido por el Consejo de Seguridad Nuclear.

Leucemia: Cáncer en el tejido encargado de formar la sangre.

Límite anual de dosis: Valor de la dosis individual, en equivalente de dosis efectiva, debida a prácticas controladas y que no se debe rebasar en un año.

Límite anual de incorporación: Es el límite secundario para la irradiación ocupacional interna, y es el valor menor de la incorporación de un radionúclido determinado en un año por el Hombre de Referencia que se traduciría bien en un equivalente de dosis efectivo comprometido de 50 mSv (5 rem) o bien, en un equivalente de dosis comprometido en el cristalino de 150mSv (15rem) o en un equivalente de dosis comprometido en cualquier otro órgano o tejido de 500 mSv (50 rem).

Límites de dosis: Límites fijados en el RPSCRI, para la dosis resultante de la exposición de los trabajadores profesionalmente expuestos y los miembros del público, no teniendo en cuenta la dosis debida al fondo natural y a las exploraciones médicas a que hayan podido ser sometidos.

Manual de protección y seguridad radiológica: Documento cuyo objetivo es que todas las acciones que involucren fuentes de radiación ionizante, se ejecuten cumpliendo con normas y procedimientos de protección radiológica adecuados, para reducir las exposiciones ocupacionales y del público a valores tan bajos como razonablemente pueda lograrse, tomando en cuenta factores económicos y sociales. Debe contener los procedimientos de protección y seguridad radiológica aplicables a las actividades que se realicen en el establecimiento.

Miembros del público: Individuos de la población, con excepción de los trabajadores expuestos y estudiantes en su jornada laboral.

Milirad. La milésima parte de un rad.

Milirem: La milésima parte de un rem.

Mutación. Cambio en la constitución química del ADN.

Neutrón. Partícula constituyente del núcleo atómico, de igual masa que el protón, sin carga eléctrica.

Nivel de intervención: Nivel de referencia cuya superación o previsión de superación, condiciona la realización de acciones correctivas o preventivas, según el caso, para paliar o eliminar los riesgos o los daños que pueda suponer.

Nivel de investigación: Nivel de referencia cuya superación justifica una investigación de los hechos y circunstancias que la determinaron.

Nivel de referencia: Valor de una magnitud física a partir del cual se toman medidas para su corrección y reducción hasta recuperar dicha magnitud valores “normales”. No se puede considerar un límite. Los valores de referencia más frecuentemente utilizados son: Nivel de registro, nivel de investigación y nivel de intervención, que a continuación se definen.

Nivel de registro: Nivel de referencia cuya superación implica el informe y archivo de los resultados obtenidos.

Número CT: Número utilizado para representar la atenuación de los rayos X asociada con cada área elemental de una tomografía. Este número se expresa en unidades Hounsfield.

Operador de instalaciones radiactivas: Persona con licencia o acreditación, otorgada por el Consejo de Seguridad Nuclear, capacitada para la manipulación de material radiactivo y/o equipos productores de radiación.

Operador: Persona autorizada para operar el equipo de rayos X.

Paciente: Individuo en turno que está siendo objeto del estudio de diagnóstico médico con rayos X.

Partícula alfa: Núcleo del elemento helio, formado por dos protones y dos neutrones que es emitido espontáneamente y con gran energía por algunos átomos radiactivos.

Partícula beta: Electrón de gran energía emitido espontáneamente por algunos átomos radiactivos. Este electrón es creado en el núcleo durante la emisión.

Personal ocupacionalmente expuesto: Aquel que en ejercicio y con motivo de su ocupación está expuesto a radiación ionizante o a la incorporación de material radiactivo. Quedan excluidos los trabajadores que ocasionalmente en el curso de su trabajo puedan estar expuestos a este tipo de radiación, siempre que el equivalente de dosis efectivo anual que reciban no exceda el límite establecido en este Reglamento para el público.

Práctica: Actividad humana que puede aumentar la exposición de personas a la radiación procedente de una fuente artificial, o de una fuente natural de radiación, cuando los radionucleidos naturales son procesados por sus propiedades radiactivas, fisionables o fértiles, excepto en el caso de exposición de emergencia.

Programa de garantía de calidad: Conjunto de disposiciones administrativas y procedimientos técnicos debidamente documentados, así como acciones para verificación y medidas correctivas destinados a generar la calidad de los servicios de diagnóstico médico con rayos X.

Pruebas de aceptación: Inspección con la que se trata de determinar si es aceptable un equipo entregado o cuya entrega se ha ofrecido. Esa inspección puede incluir pruebas realizadas después de la instalación del equipo para determinar si se ha fabricado e instalado de conformidad con las especificaciones técnicas acordadas. Los resultados de esas pruebas servirán como valores de referencia para evaluar el rendimiento del equipo en pruebas sistemáticas que se realicen en el futuro.

Público: Toda persona que puede estar expuesta a las radiaciones de equipos de diagnóstico médico con rayos X por encontrarse en las inmediaciones de las instalaciones.

Rad: Unidad de dosis absorbida, igual a 100 ergs absorbidos en un gramo de materia irradiada.

Radiación artificial: Término usado para referirse a la radiación producida por el ser humano.

Radiación ionizante. Radiación con la capacidad de causar, directa o indirectamente, ionizaciones. Los protones, neutrones, electrones, núcleos atómicos, rayos X y rayos gamma son radiación ionizante.

Radiación natural: Radiación presente en el ambiente, cuyo origen es independiente de cualquier actividad humana. También se le llama radiación de fondo.

Radiación: Energía en movimiento, puede consistir en ondas o partículas atómicas o nucleares.

Radiactividad: Desintegración espontánea de algunos núcleos atómicos, con la emisión de partículas alfa, beta y rayos gamma.

Radiobiología: Rama de la ciencia que estudia los efectos de la radiación en la materia viva.

Radiodiagnóstico: Especialidad médica que utiliza los rayos X con fines diagnósticos: radiología convencional, tomografía axial computarizada, angio-radiología digital, etc.

Radiografía: Técnica del diagnóstico médico que produce una imagen de las estructuras del cuerpo sobre un receptor de imagen sensible a los rayos X transmitidos a través del paciente.

Radioisótopo: Núcleo radiactivo.

Radionucleido (radioisótopo, elemento radiactivo): Átomos que emiten radiación de forma espontánea.

Radiosensibilidad: Respuesta de un sistema biológico a los efectos de la radiación. Se expresa como la magnitud o la rapidez de la respuesta.

Radioterapia: Especialidad médica que utiliza las radiaciones ionizantes (Rayos X, radiación gamma, electrones) con fines terapéuticos.

Radiotoxicidad: Toxicidad debida a las radiaciones ionizantes emitidas por un radionucleido incorporado y por sus productos derivados. La radiotoxicidad no es debida únicamente a las características radiactivas del radionucleido sino que depende también de su estado físico y químico y del metabolismo de ese elemento o compuesto en el organismo.

Rayos gamma: Radiación electromagnética de alta energía, producida espontáneamente por algunos núcleos atómicos.

Rayos X: Radiación electromagnética de alta energía, invisible y muy penetrante. Su principal uso es obtener radiografías (imágenes del interior del organismo).

Rem: Unidad de equivalente de dosis, igual al producto de la dosis absorbida (en rads) por un factor de efectividad biológica.

Residuo radiactivo: Cualquier material o producto de desecho, para el que no está previsto ningún uso, que contiene o está contaminado con radionucleidos en concentraciones o niveles de actividad superiores a los establecidos por la legislación.

Resonancia magnética. Técnica de diagnóstico que utiliza las propiedades del núcleo de hidrógeno en campos magnéticos para obtener imágenes del interior del organismo.

Restricción de dosis: Reducción de los valores de dosis individuales.

Riesgo: puede ser definido como la probabilidad de un tipo particular de daño, por ejemplo, una fatalidad como resultado de un evento crucial.

Sala de rayos X: Área del establecimiento de diagnóstico médico con rayos X donde está instalado un equipo fijo y se lleva a cabo la generación de rayos X para efectuar los estudios.

Servicio de Dosimetría Personal: Entidad responsable de la lectura e interpretación de las medidas obtenidas con dispositivos de vigilancia individual de dosis o de la medida de radiactividad recibida por el cuerpo humano a partir de muestras biológicas. Dichas entidades cuentan con el reconocimiento del CSN.

Servicio de Protección Radiológica: Servicio encargado del establecimiento de las normas de Protección Radiológica y de la vigilancia de su cumplimiento. Expresamente autorizada por el Consejo de Seguridad Nuclear.

Sievert (Sv): Nombre especial de la unidad de dosis efectiva y de dosis equivalente en el S.I. Un Sievert es igual a un julio por kilogramo: $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$

Supervisor de instalaciones radiactivas: Persona con licencia otorgada por el Consejo de Seguridad Nuclear, capacitada para dirigir el funcionamiento de una instalación radiactiva y las actividades de los operadores.

Sustancia radiactiva: Sustancia que contiene uno o varios radionucleidos cuya actividad no es despreciable desde el punto de vista de P.R..

TAC (tomografía axial computarizada): Técnica de radiodiagnóstico que obtiene imágenes de planos transversales al eje del cuerpo del paciente. Esto se logra haciendo girar el aparato de rayos X alrededor del cuerpo, en el plano de interés. La información es transformada en imagen con la ayuda de una computadora.

Técnico experto en Protección Radiológica: Persona debidamente cualificada, que forma parte de un Servicio o Unidad Técnica de Protección Radiológica, y que, bajo la dirección del Jefe de Servicio o Unidad Técnica de Protección Radiológica, realiza las actividades propias de dicho Servicio o Unidad.

Tejido: Conjunto de células del mismo tipo asociadas para cumplir una función.

Titular: Persona física o moral que posee la titularidad de la licencia sanitaria expedida por la Secretaría de Salud.

Tomografía computarizada: Es la producción de una tomografía mediante la adquisición y procesamiento por computadora de los datos obtenidos a partir de la transmisión de rayos X.

Tomografía. Técnica en que se usan rayos X para obtener imágenes de planos distintos del cuerpo de un individuo, con fines de diagnóstico.

Trabajadores expuestos: Personas sometidas a una exposición a causa de su trabajo derivada de las prácticas a las que se refiere el presente MPR que pudieran entrañar dosis superiores a alguno de los límites de dosis para miembros del público.

Trabajadores externos: Cualquier trabajador, clasificado como trabajador expuesto, que efectúe actividades de cualquier tipo en la zona controlada de una instalación nuclear o radiactiva y que esté empleado de forma temporal o permanente por una empresa externa, incluidos los trabajadores en prácticas profesionales, personas en formación o estudiantes, o que preste sus servicios en calidad de trabajador por cuenta propia.

Tubo de rayos X: Tubo electrónico diseñado para producir rayos X.

Ultrasonido. Sonido no audible de alta frecuencia, utilizado en varias prácticas médicas de diagnóstico. Uno de sus usos más comunes es para obtener imágenes del feto durante el embarazo. No es radiación ionizante, por lo que el riesgo es mucho menor que una radiografía.

Verificación: La revisión y examen de la información proporcionada a la Comisión con motivo de las actividades reguladas por este Reglamento y de acciones correctivas derivadas de las deficiencias o anomalías que como consecuencia de las inspecciones o auditorías se hubieren encontrado.

Vigilancia médica: Supervisión médica cuya finalidad es verificar las condiciones iniciales de salud del POE y determinar si existe algún impedimento para desempeñar el cargo, así como vigilar periódicamente si su salud ha sufrido alteraciones relevantes que requieran una reconsideración respecto de continuar el trabajo con radiaciones.

Vigilancia radiológica: Supervisión profesional destinada a verificar el cumplimiento de las normas de protección contra las radiaciones ionizantes, mediante la medición de las exposiciones o las dosis recibidas por el POE y su interpretación con fines de control.

Zona controlada: Es la zona sujeta a supervisión y controles especiales con fines de protección radiológica.

Los rayos X en radiología

Los rayos X son radiación ionizante que se propaga en forma de ondas electromagnéticas. La radiación ionizante es el transporte de energía a través del espacio, por ondas electromagnéticas o partículas atómicas.

2.3.1. Ondas electromagnéticas

Los rayos X son ondas electromagnéticas (Fig.2.5.) de alta energía producidas al interaccionar electrones de alta velocidad que provienen del cátodo con el blanco (ánodo). Los rayos X son radiaciones ionizantes capaces de remover electrones y romper enlaces bioquímicos.

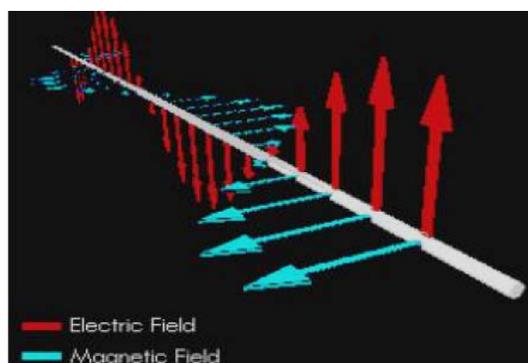


Fig. 2.5. La combinación de una onda eléctrica con una onda magnética produce una onda electromagnética (GE, 2006)

2.3.2. Fotones

Max Plank confirmó que la radiación electromagnética era emitida en forma de cuantos (llamados también fotones) y Einstein propuso que la radiación electromagnética se propaga también como cuantos individuales. La energía de los fotones es ligeramente proporcional a la frecuencia e inversamente proporcional a la longitud de onda, esto es:

$$E = h\nu \quad (2.1)$$

Donde $h = 6.63 \times 10^{-34}$ J-s. Así mismo, la relación entre la longitud de onda y la frecuencia está dada por:

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (2.2)$$

Donde $c = 3 \times 10^8$ m/s, que es la velocidad de la luz. La diferencia de potencial (V) aplicado entre el cátodo y el ánodo tiene una relación con la longitud de onda mínima de los rayos X generados en un tubo de rayos X y está dada por:

$$\lambda_{\text{mínima}} = \frac{1.24 \times 10^{-9} \text{ volt} - \text{metro}}{V} \quad (2.3)$$

Donde V es la diferencia de potencial en kV. Ejemplo: en un estudio radiológico con una técnica de 100 kV y 20 mAs. La longitud de onda mínima asociada a los rayos X se encuentra usando la ecuación (2.3), es decir, $\lambda_{\text{mínima}} = 1.24 \times 10^{-11}$ m. Usando las ec. 1.1 y 1.2 se puede calcular la energía (E) asociada a la longitud de onda.

Nota: El modelo del fotón combina propiedades de onda con propiedades de partícula; por lo que el fotón puede ser considerado como una partícula en movimiento.

2.3.3. Producción de rayos X

Al interaccionar el haz de electrones con el blanco (Fig. 2.6. y 2.7.), la energía cinética de los electrones se transforma en energía térmica (calor) y energía electromagnética (rayos X). El 99% de la energía cinética de los electrones se transforma en calor y sólo el 1% se convierte en rayos X. Rayos X característicos y bremsstrahlung producen simultáneamente en el momento hacer un estudio radiológico. Los rayos X se propagan en línea recta y su capacidad de penetración en la materia depende de la diferencia de potencial eléctrico aplicado y la intensidad que está en función de la corriente de electrones en el tubo por tiempo (mAs) que afecta la densidad óptica en la imagen radiológica.

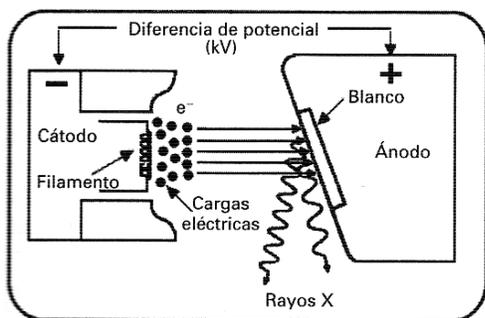


Fig. 2.6. Producción de rayos X en un tubo de ánodo fijo (Gaona E. 2006)

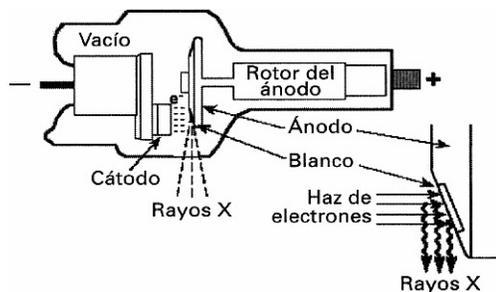


Fig. 2.7. Producción de rayos X en un tubo de ánodo rotatorio (Gaona E. 2006)

2.3.3.1. Rayos X característicos

El haz de electrones del cátodo colisiona con los átomos del blanco y remueve electrones de las capas internas de los átomos, dando como resultado ionización y/o excitación. La producción de rayos X ocurre como resultado de la interacción electrostática de los electrones del cátodo con los electrones orbitales de los átomos del blanco (rayos X característicos) (Fig. 2.8. y 2.9.)

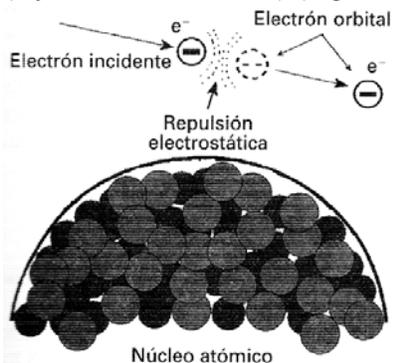


Fig. 2.8. Interacción electrostática entre electrones (Gaona, 2006)

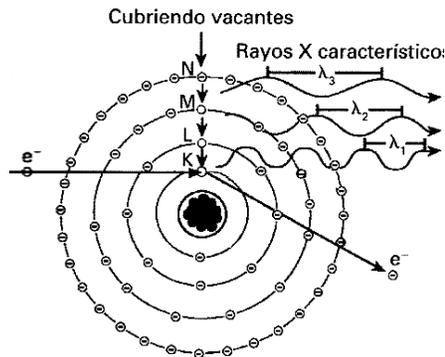


Fig. 2.9. Producción de rayos X característicos, donde $\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$ (Gaona, 2006)

Los rayos X característicos se incrementan conforme aumenta el número atómico del material blanco.

2.3.3.2. Rayos X bremsstrahlung

Radiación de frenado o bremsstrahlung: Cuando un electrón pasa cerca del núcleo atómico, sufre una desaceleración brusca. Esta desaceleración es la causa de que la partícula cambie su dirección y energía y de que emita un fotón X (Fig. 2.10. y 2.11.).

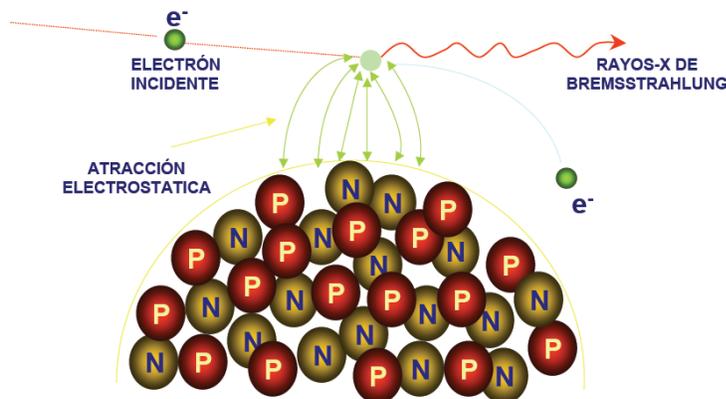


Fig. 2.10. Interacción de los electrones con el núcleo (GE, 2006)

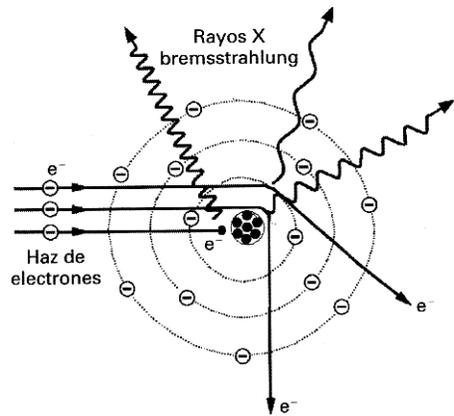


Fig. 2.11. Producción de los rayos X bremsstrahlung (Gaona, 2006)

La proporción de rayos X bremsstrahlung es mayor (70%) que los rayos X característicos en el haz de rayos X para radiología general.

2.3.3.3. Espectro de rayos X

El espectro de energía del haz de rayos X resulta de la superposición de un espectro continuo (rayos X bremsstrahlung) y de un espectro de líneas (rayos X característicos) (Fig. 2.12.).

El espectro del haz en el blanco tiene la forma de una línea recta y es un haz no filtrado que tiene energías desde casi cero hasta el potencial eléctrico máximo aplicado (Fig. 2.12.). Sin embargo, el haz para estudios radiológicos después de pasar por la filtración inherente y adicional se convierte en un haz filtrado (Fig. 2.12.).

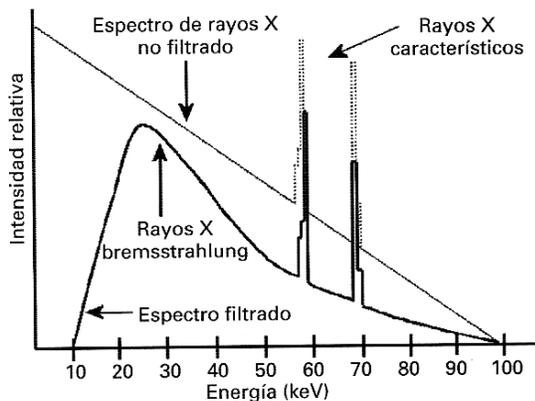


Fig. 2.12. Espectro de rayos X filtrado y no filtrado (Gaona, 2006)

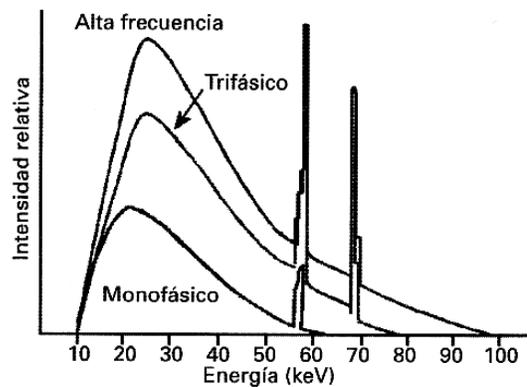


Fig. 2.13. Efecto de los diferentes tipos de generadores en el espectro de rayos X (Gaona, 2006).

La filtración del haz tiene como finalidad remover los rayos X de baja energía que no contribuyen a la formación de la imagen pero sí a una dosis mayor en la piel del paciente y tener un haz de rayos X con suficiente penetración en tejido para lograr una imagen con calidad diagnóstica. La filtración total de un haz de rayos X está compuesta por filtración inherente y filtración adicional.

Los rayos X producidos por efecto Bremsstrahlung presentan un espectro continuo de energía; esta característica es aprovechada en radiografía diagnóstica debido a la atenuación que ofrecen los diferentes tejidos a cada energía.

Los rayos X característicos poseen un espectro monoenergético; debido a la constitución del tejido mamario, estos son los más adecuados para usos en mamografía.

2.3.3.4. Tipo de generador de rayos X

En la radiología se usan diferentes diseños de generadores de rayos X: monofásicos, trifásicos, alta frecuencia y potencial constante. El espectro del haz de rayos X se modifica dependiendo del tipo de generador usado (Fig. 2.13). Los generadores de alta frecuencia y potencial constante son los más eficientes en la producción de rayos X y proporcionan una latitud mayor en la imagen radiológica y una cantidad del haz superior.

Los diseños de generadores de alta frecuencia proveen mayor protección radiológica a la piel del paciente por tener un haz de rayos X con mayor penetración y se logra una imagen con mayor latitud.

2.3.3.5. Ánodo

El ensamble del ánodo contiene el *blanco*, en el cual los electrones interaccionan para producir rayos X. El diseño del ánodo puede ser fijo (figura 3.14.) o giratorio (figura 3.15.).

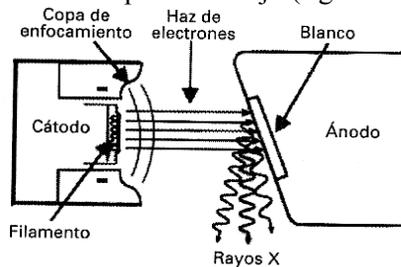


Figura 2.14. Tubo de rayos X con ánodo fijo (Gaona E. 2006).

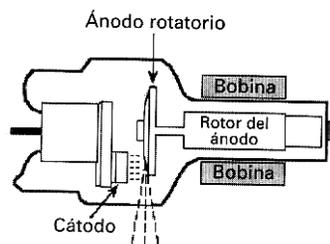


Figura 2.15. Tubo de rayos X con ánodo giratorio (Gaona E, 2006).

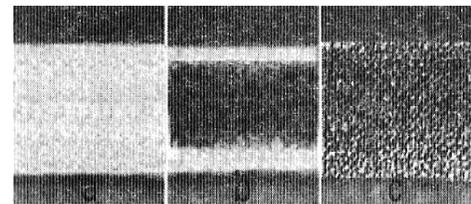


Fig. 2.16. Pistas de ánodos giratorios con diferente desgaste (Gaona, 2006).

2.3.3.6. Ánodo giratorio

La conducción y disipación de calor depende del área del blanco y para aumentar el área del blanco se acude al diseño de *ánodo giratorio*, si el diámetro del ánodo se incrementa, mayor será la capacidad de disipación de calor y el ánodo soportará una carga de trabajo mayor (Fig. 2.16).

La pista del blanco en el ánodo cuando es nuevo tiene un aspecto brillante y liso (Fig. 2.16a). Sin embargo las imágenes de la Fig. 2.16b y 2.16c muestran ánodos con diferente desgaste. En el caso b) se muestra el resultado de haber sobrepasado las especificaciones de disipación de calor (sobrecarga, uso excesivo de punto focal fino o utilización de técnicas prohibidas) y en el c) ilustra un desgaste parejo normal.

2.3.4. Formación de la imagen radiográfica

La Radiología Diagnóstica tiene como propósito el diagnóstico de enfermedades con alta probabilidad de éxito basado en una imagen radiológica. Para lograr el fin último de la radiología, las imágenes generadas deben ser de alta calidad en términos de contraste, resolución espacial y ruido que son los elementos que componen la calidad de la imagen radiológica (Fig. 2.17.).

2.3.4.1. Contraste

Es la diferencia de densidades ópticas entre dos áreas diferentes de una imagen, que permite distinguir diferencias sutiles de atenuación entre los diferentes tejidos o en sus densidades (p) (Fig. 2.18.). El *contraste* se puede calcular como un porcentaje entre la densidad óptica (DO) del objeto (estructura) y la densidad óptica del fondo con la ecuación (2.4).

$$\text{Contraste}(\%) = \frac{DO(\text{objeto}) - DO(\text{fondo})}{DO(\text{objeto})} \times 100 \quad (2.4)$$

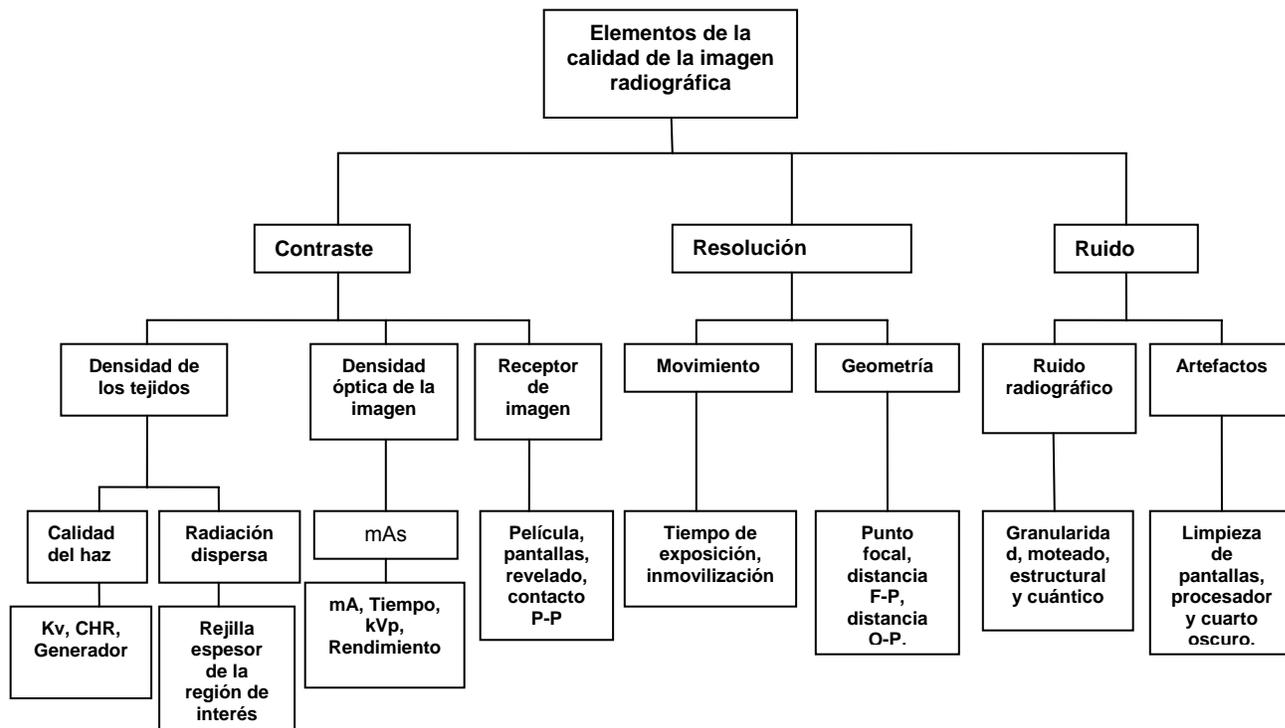


Fig. 2.17. Elementos de la calidad de imagen radiográfica (Gaona, 2006).

2.3.4.1.1. Latitud

El concepto de latitud se refiere a la amplitud de la escala de grises en una imagen radiográfica, si el contraste aumenta la latitud disminuye y viceversa. La imagen (Fig. 2.19.) muestra dos imágenes con diferente latitud y contraste.

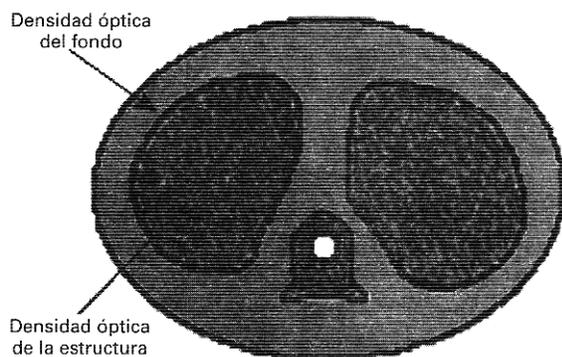


Fig. 2.18. Concepto de contraste de una imagen (Gaona, 2006).

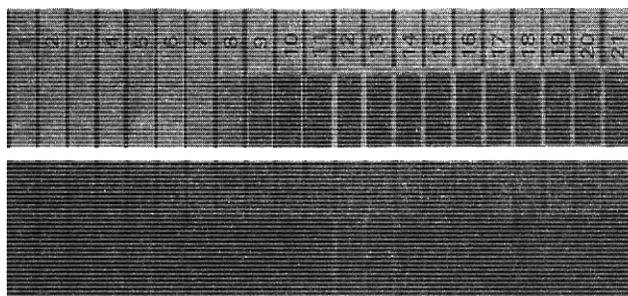


Fig. 2.19. La imagen superior tiene mayor contraste y una latitud menor (Gaona, 2006).

2.3.4.1.2. kV (Diferencia de potencial eléctrico)

Los valores de kV aplicados entre el ánodo-cátodo van a modificar el contraste de la imagen radiográfica, al aumentar lo kV el contraste disminuye y la latitud aumenta. Un incremento de los kV lleva consigo un aumento de la interacción Compton, sin embargo al disminuir los kV predomina el efecto fotoeléctrico.

2.3.4.1.3. Calidad del haz de rayos X

La calidad del haz es un indicador de la capacidad de penetración en tejido y se mide a través de la capa hemirreductora (CHR); depende principalmente de los kV, CHR y tipo de generador de rayos X (monofásico, trifásico, alta frecuencia). El contraste disminuye si: se aumenta la CHR, si se utiliza un generador de alta frecuencia en vez de un generador monofásico, sin embargo, la penetración del haz de rayos X del generador de alta frecuencia es mayor.

2.3.4.1.4. Radiación dispersa y rejilla antidifusora

La *radiación dispersa* es un efecto que reduce el contraste y la resolución de la imagen, existen varios métodos para reducir la radiación dispersa pero la más usada es la rejilla antidispersora junto con la técnica adecuada (kV, mAs). El tamaño de campo debe reducirse al mínimo necesario para obtener la imagen de la región de interés, además disminuye la dosis al paciente y al personal técnico.

La *rejilla antidifusora* es el dispositivo que puede ayudar a reducir la radiación dispersa. Las características más importantes de la rejilla son el factor bucky, la razón de la rejilla y la distancia de focalización. Actualmente existen rejillas fijas y móviles dentro del bucky.

2.3.4.1.5. Efecto de Heel

La angulación da origen al *efecto de Heel* (talón), que se debe a que los rayos X producidos en dirección del ánodo sufren una mayor atenuación, dando como resultado que la intensidad de los rayos X sea menor en dirección del ánodo y mayor del lado del cátodo (Fig. 2.20.).

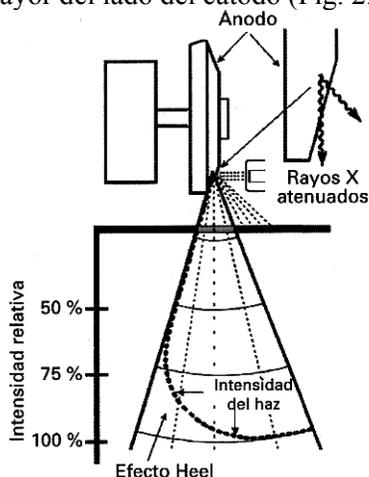


Fig. 2.20. El efecto Heel o de talón (Gaona, 2006).

El efecto de Heel ocasiona que la intensidad y la penetración de los rayos X sobre el receptor de imagen no sea homogénea teniendo una disminución de la densidad óptica hasta del 25 % del lado del ánodo. Debido a este efecto y al proyectar el haz de rayos X sobre el bucky de pared el cátodo debe quedar en la parte inferior para compensar la variación de la densidad óptica en las imágenes.

2.3.4.1.6. Densidad óptica de la imagen

La *densidad óptica* (DO) es una magnitud que proporciona una medida del grado de oscurecimiento o transparencia de una película radiográfica, después de haber sido expuesta a los rayos X y procesada. La densidad óptica esta definida por la ecuación (2.5).

$$DO = \log \frac{I_0}{I} \quad (2.5)$$

Donde I_0 es la intensidad de la luz que incide sobre la película, I es la intensidad de la luz que se transmite a través de la película. La película radiográfica expuesta tiene densidades ópticas que van desde una densidad óptica de casi 0 hasta 3.5, la Tabla 2.1., ilustra las densidades ópticas características en radiología diagnóstica. El intervalo útil de densidades ópticas en radiología diagnóstica está entre 0.25 y 2.5.

Tabla 2.1. Relación entre densidad óptica e imagen radiográfica.

Densidad óptica	Característica de la imagen radiográfica
0.0	Radiografía blanca, 100% de transmisión
0.20-0.23	Velo neto (base + velo) dela película procesada
1.0-1.2	Imagen de radiografía general
1.4-1.7	Imagen mamográfica
2.0	Campo pulmonar
3.0	Imagen muy oscura
3.5	Máximo oscurecimiento.

2.3.4.1.7.

Rendimiento del haz útil de rayos X

El *rendimiento* o tasa de exposición es la intensidad del haz por mAs (mR/mAs), va a tener un efecto también sobre la densidad óptica de la imagen. Cuando la pista del blanco del ánodo del tubo de rayos X tiene un desgaste por calor excesivo o por interacción de los electrones, el rendimiento baja y también la intensidad del haz (fotones/área) y se debe aumentar el tiempo de exposición para lograr una densidad óptica diagnóstica de la radiográfica.

El rendimiento es una función de: kV y de los mAs, que también es afectado por la filtración total (CHR), tipo de generador, distancia del punto focal-receptor de imagen y tiempo de uso del tubo de rayos X. El rendimiento del haz de rayos X varía inversamente con el cuadrado de la distancia de foco-receptor de imagen. Esta relación se conoce como Ley del inverso del cuadrado.

2.3.4.1.8. Receptor de imagen

El receptor de la imagen en radiología general está compuesto por el chasis que contiene las pantallas intensificadoras y la película (Fig. 2.21.).

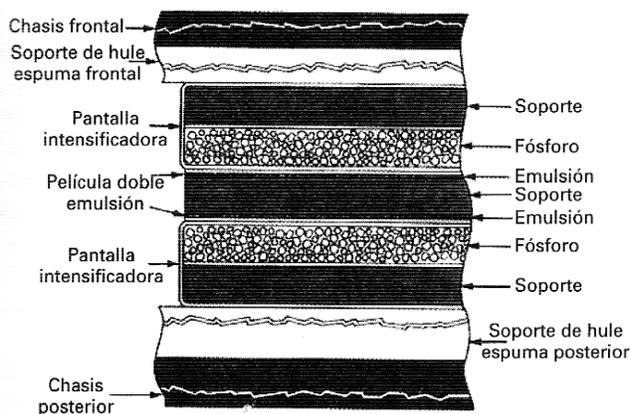


Fig. 2.21. Corte ilustrativo de chasis, película y pantalla (Kodak S. A., Introducción a la Imagen Radiográfica Médica)

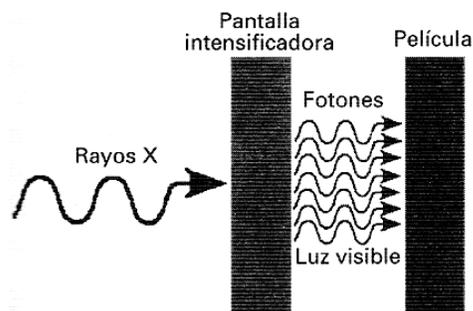


Figura 2.22. La pantalla, dispositivo de conversión de rayos X en fotones de luz (Gaona, 2006)

2.3.4.1.9. Pantalla intensificadora

La pantalla intensificadora o de esfuerzo amplifica el número de fotones de rayos X que llegan a ella, los absorbe y los convierte en fotones de luz visible (Fig. 2.22.). La falta de limpieza produce puntos o manchas blancas-grises en la imagen radiográfica.

El tipo de pantalla puede modificar la densidad óptica, contraste y resolución en la imagen radiográfica. La película radiográfica debe ser compatible con la pantalla y además especificar su uso, la curva característica velocidad, contraste, latitud, emulsión por una cara o por ambas y resolución; sin embargo se debe medir y conocer la respuesta global de la combinación película-pantalla.

2.3.4.1.10. Formación de la escala de grises en la película.

El cuerpo humano está compuesto de tejidos y estructuras que tienen diferente número atómico (densidad) y el haz de rayos X al atravesar las estructuras que deseamos visualizar, sufrirá diferentes grados de atenuación (reducción de la intensidad del haz) como consecuencia de dos tipos de interacción de los fotones con los electrones de los átomos de las estructuras:

Efecto fotoeléctrico, consiste en que un fotón le transfiere toda su energía a un electrón y desaparece el fotón sin interaccionar con el receptor de imagen (película). El efecto fotoeléctrico se incrementa al reducir los kV.

Dispersión Compton, este tipo de interacción produce lo que se conoce como radiación dispersa, que consiste en que un fotón solo le transfiere parte de su energía al electrón y el fotón sale dispersado en una dirección diferente a la original (blanco-película). La dispersión Compton se incrementa al aumentar los kV y la dimensión de la región bajo exploración. Finalmente, el efecto fotoeléctrico es el responsable de la formación de la imagen y el efecto Compton se encarga de degradar la calidad de imagen al introducir un velo.

2.3.4.2. Resolución espacial

La *resolución espacial* es la habilidad de un sistema de imagen para resolver dos objetos o estructuras adyacentes de alto contraste como entidades separadas o discretas (Fig. 2. 23). La resolución es también la capacidad para definir un borde o límite de una estructura, así como visualizar estructuras pequeñas. Con una resolución espacial mayor, los bordes y los límites de las estructuras tendrán mayor *nitidez* y serán menos *borrosos*. La resolución se expresa en pares de líneas por milímetro (pl/mm). En la imagen radiológica la falta de resolución se manifiesta como borrosidad de los bordes de las estructuras lineales y tisulares. El sistema de imagen con la que se obtuvo la imagen de la Fig. 2.24., no es capaz de resolver como entidades separadas a partir del grupo 8 en adelante.

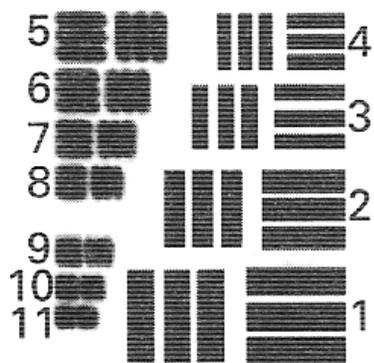


Fig. 2.23. Ilustración del concepto de resolución espacial (Gaona, 2006)

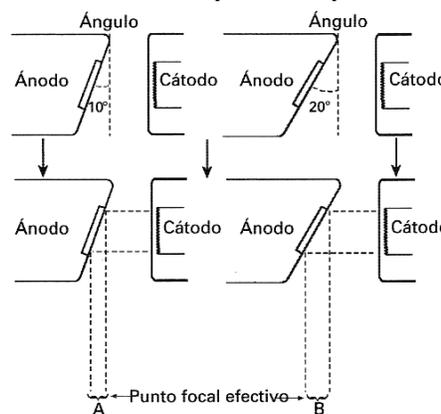


Fig. 2.24. Efecto del ángulo del ánodo en el tamaño de punto focal efectivo (Gaona, 2006)

Los factores de los que depende la resolución espacial son: tamaño del punto focal efectivo, amplificación, distancia foco-objeto, distancia objeto-película, distancia foco-película; inmovilización del paciente, tamaño del grano de la pantalla y película, contacto pantalla-película, ruido cuántico. La resolución también se verá afectada por el contraste de la imagen.

2.3.4.3. Ruido radiográfico

Son variaciones de densidad óptica aleatorias en la imagen radiográfica que afecta la correcta interpretación. El ruido radiográfico se compone de granularidad, moteado estructural y moteado cuántico.

Granularidad. Se debe a la distribución aleatoria de los cristales de plata y da como resultado una respuesta no uniforme a la luz y que es visible en la radiografía en las áreas de baja densidad.

Moteado estructural. Son cambios en la densidad óptica que son ocasionados por la falta de uniformidad en la estructura de la pantalla y por consiguiente una emisión no uniforme de luz.

Moteado cuántico. Es la variación en la densidad óptica de una radiografía expuesta a un flujo uniforme de fotones de rayos X; su causa principal es la distribución espacial aleatoria de los cuantos de rayos X absorbidos por la pantalla y un menor número de fotones absorbidos. Es la principal causa de ruido en la imagen y depende del número de fotones que han contribuido a la imagen, además el número de fotones está relacionado directamente con la exposición. Si deseamos disminuir el ruido cuántico es necesario aumentar la técnica de exposición.

2.3.4.3.1. Artefactos en la imagen

Frecuentemente se presentan, en formas de manchas, estructuras no reales, patrones, marcas, etc. Los artefactos aparecen por manejo, almacenamiento, exposición o procesamiento no adecuado de la película.

Un *artefacto* puede definirse como algo que es perceptible en la imagen pero que no corresponde a ninguna parte anatómica o patológica de la mama. El ruido, como se ha discutido, es un ejemplo de un artefacto difuso. El radiólogo tiene la palabra final acerca de la aceptabilidad de artefactos específicos que puede contener la imagen.

2.3.5. Condiciones ambientales de luz en la interpretación de la imagen

La *visualización e interpretación de la imagen* requiere primeramente de la experiencia del radiólogo y una sala de interpretación con las condiciones de luz ambiental adecuadas (<50 lux). Sin embargo, aun cuando se haya obtenido la imagen radiográfica en condiciones de control de calidad y toda la información de las estructuras estén contenidas en la película, todavía es posible pasar por alto una lesión en la imagen si esta no se interpreta bajo las condiciones óptimas de visualización.

2.4. Recomendaciones ICRP-93

2.4.1. Formación del POE (Fig. 2.25.) antes de la utilización clínica de las técnicas digitales (ver Anexo B).



Fig. 2.25. Imagen de tórax. Únicamente fallo en la impresión... pero la exposición se repitió... ¿falta de formación? (ICRP-93)

2.4.2. Los niveles locales de referencia de dosis a los pacientes deberían revisarse.

2.4.3. Auditoria de dosis a los pacientes (Fig. 2.26.).

2.4.4. Los datos originales de las imágenes deberían ser accesibles al usuario.



Fig. 2.26. Tórax PA obtenido como LL; 125kV; 6.2mAs; 0.54mGy (ICRP-93)

Criterios para la aceptabilidad de las instalaciones de radiodiagnóstico

1. INSTALACIONES DE RADIOLOGIA CONVENCIONAL

Los parámetros y criterios aquí mencionados son aplicables a los equipos de radiología convencional.

A) *Tensión:*

a) Calibración de la escala.

La desviación máxima entre el valor nominal y el valor real debe ser inferior a ± 10 por 100.

b) Variación de la tensión con cambios en la corriente del tubo.

La variación máxima debe ser inferior al 10 por 100.

c) Reproducibilidad de la tensión del tubo.

Para todos los generadores: en una serie de mediciones repetidas, la desviación de la tensión del tubo debe ser inferior a ± 5 por 100 del valor medio.

B) *Filtración total:* la filtración total equivalente en el haz útil debe ser $\geq 2,5$ mm de Al para equipos que trabajen a una tensión superior a 70 kVp.

C) *Tiempo de exposición:* para los tiempos de exposición nominales que superen los 100 ms, la variación del tiempo real de exposición debe estar dentro del ± 10 por 100 del valor indicado.

D) *Rendimientos del tubo:*

a) Valor.

El rendimiento del tubo debe ser mayor que 25 $\mu\text{Gy/mAs}$ a 1 m para una tensión de 80 kV reales y una filtración total de $\geq 2,5$ mm de Al.

b) Reproducibilidad.

Para una tensión del tubo y una filtración dentro del margen utilizado en la práctica, es decir, 80 kV y una filtración de $\geq 2,5$ mm de Al, el rendimiento medido en exposiciones repetidas no debe desviarse más del ≥ 20 por 100 de la media.

c) Variación con cambios de la corriente indicada (mA).

La variación debe ser inferior al 15 por 100.

d) Variación con cambios de la carga del tubo (mAs).

La variación debe ser inferior al 20 por 100.

E) *Alineación:*

a) Coincidencia del haz de rayos X/haz luminoso.

La suma de las distancias entre los bordes respectivos de los campos luminoso y de rayos X en cada una de las direcciones principales no debe rebasar el 3 por 100 de la distancia desde el foco al campo luminoso.

b) Alineación del haz de rayos X con el receptor de imagen.

Cuando el eje del haz de rayos X es perpendicular al plano del receptor de la imagen, el centro del campo de rayos X y el centro del receptor de la imagen deben estar alineados en torno al 2 por 100 de la distancia foco-receptor de imagen.

c) Centrado del haz de rayos X/haz luminoso.

La alineación de la cruceta del diafragma del haz luminoso con el centro del haz de rayos X no debería desviarse más de ± 1 por 100 de la distancia foco-película.

d) Centrado del haz luminoso/Bucky.

La alineación de la cruceta del diafragma del haz luminoso con el centro de la película en el Bucky no debería diferir más del ± 1 por 100 de la distancia foco-película.

e) Ortogonalidad del haz de rayos X y del receptor de imagen.

El ángulo que forman el eje central del haz de rayos X y el plano del receptor de la imagen no debería desviarse más de 1,5 grados en un ángulo de 90 grados.

F) *Colimación:*

a) El haz de rayos X se debe colimar de manera que el área total expuesta, para la distancia fijada del foco al receptor de imagen, se mantenga dentro de los bordes del receptor de la imagen seleccionado.

b) Colimación automática.

El haz de rayos X no debería desviarse más del 2 por 100 de la distancia del foco al receptor de la imagen en cualquier lado del receptor de la imagen. Deberá ser posible utilizar campos más pequeños que el área total del receptor de la imagen.

G) *Rejilla:*

a) Artefactos.

Obtener una imagen de la rejilla a 50 kV. No deben verse en la imagen artefactos.

b) Rejilla móvil.

Las láminas de la rejilla móvil no deben ser visibles en la imagen obtenida con el tiempo de exposición mínimo que se utiliza en la práctica clínica.

H) *Control automático de la exposición (CAE):*

a) Compensación con el tiempo de exposición.

La diferencia de densidad óptica (DO) entre dos exposiciones con los mismos ajustes del CAE, uno con un tiempo de exposición corto y otro con tiempo de exposición largo, debe ser inferior a $\pm 0,3$ DO.

b) Compensación con la tensión.

Para un espesor fijo del atenuador, la máxima diferencia entre las densidades ópticas obtenidas con todas las tensiones del tubo utilizadas en la práctica clínica no debe ser superior a $\pm 0,3$ DO.

c) Compensación con el espesor.

Para una tensión fija del tubo, la máxima diferencia entre las densidades ópticas obtenidas con distintos espesores del atenuador y el valor medio de la densidad óptica correspondiente a atenuadores cuyos espesores abarquen el margen de espesor del paciente que se explora en la práctica con esa tensión no debe diferir en más de $\pm 0,3$ DO.

I) *Radiación de fuga:* La radiación de fuga de la carcasa, medida a la distancia de 1 m del foco, no debe ser superior a 1 mGy en una hora a la tensión nominal máxima especificada por el fabricante para el tubo en esa carcasa.

2. REVELADO DE PLACAS, PROPIEDADES DE LOS RECEPTORES DE IMAGEN Y CONDICIONES DE VISUALIZACION

A) *Pantallas intensificadoras y chasis:*

a) Estado y limpieza de pantallas y chasis.

No se deben apreciar artefactos importantes en las películas previamente expuestas y reveladas.

b) Hermeticidad del chasis.

Exponer un chasis con una película (no expuesta previamente) en su interior durante diez minutos por cada cara a la luz de un negatoscopio con un brillo de 1.000 cd/m^2 como mínimo y revelar la película. En la imagen no deben apreciarse bordes negros.

c) Contacto pantalla-película.

El chasis no debe ocasionar en la radiografía zonas con diferencias visibles de densidad o zonas poco nítidas. Para comprobarlo se puede emplear una malla metálica colocada sobre el chasis.

d) Sensibilidad relativa de las combinaciones pantalla-película de la misma velocidad.

Las densidades ópticas de las imágenes obtenidas con combinaciones pantalla-película del mismo tipo y en idénticas condiciones de exposición (igualdad de dosis, tensión del tubo, filtración, etc.) no deben diferir en más de $0,3$ DO.

B) *Revelado de placas:*

a) Base y velo.

La base más velo debe ser inferior a $0,30$ DO.

b) índice de velocidad.

La desviación del índice de velocidad respecto del valor inicial o de referencia debe ser inferior a $0,20$ DO.

c) Índice de contraste.

La desviación del índice de contraste respecto del valor inicial o de referencia debe ser inferior a $0,20$ DO.

C) *Cuarto oscuro:*

a) Entradas de luz.

Con las luces de revelado y otras luces apagadas, y después de adaptar la vista durante cinco minutos, como mínimo, al cuarto oscuro, no deben detectarse entradas de luz.

b) Luces de revelado.

La prueba deberá realizarse con una película previamente expuesta a los rayos X para obtener una densidad óptica en torno a la unidad. La densidad óptica de una parte de la película expuesta durante cuatro minutos a las luces de revelado en la posición habitual de trabajo del cuarto oscuro y con la iluminación encendida en los recintos circundantes, no debe ser superior en 0,10 DO a la densidad óptica de otra parte adyacente no expuesta de la misma película.

D) *Condiciones de visualización:*

a) Negatoscopio.

El brillo debe estar en torno de 1.700 cd/m² como mínimo.

La falta de uniformidad debe ser inferior al 30 por 100.

b) Luz ambiental.

La luz ambiental del recinto a 1 m de distancia del negatoscopio debe ser inferior a 50 lux.

3. FLUOROSCOPIA

Requisitos adicionales.

A) *Tasa de dosis:*

Para intensificadores convencionales se deberá cumplir uno de los dos criterios siguientes:

a) La tasa de dosis máxima en la pantalla de entrada sin rejilla (25 cm de diámetro) de un intensificador de imagen convencional con control automático de dosis y control automático de brillo no debe rebasar 0,8 µGy/s en la exposición de un maniquí adecuado [por ejemplo, 20 cm de polimetilmetacrilato (PMMA)].

En aplicaciones especiales con altas tasas de dosis, no debería superar 1,0 µGy/s.

La tasa de dosis para otros tamaños de pantallas de entrada se podría adaptar en proporción inversa al cuadrado de su diámetro.

b) La tasa de dosis máxima para fluoroscopia convencional, incluida la retrodispersión en la piel del paciente o en la superficie de cualquier forma de paciente simulado (por ejemplo, maniquí de 25 cm PMMA) por el lado que mira al tubo de rayos X no debe ser superior a 100 mGy/min.

B) *Resolución a alto contraste:* la resolución de la combinación intensificador de imagen-cadena de televisión debe ser, como mínimo, de 0,8 pares de líneas por mm (pl/mm) en un campo de 30-35 cm de diámetro. Para campos de 23 a 25 cm y 15 a 18 cm de diámetro estos valores serán, como mínimo, de 1,0 y 1,4 pl/mm, respectivamente.

C) *Umbral de sensibilidad a bajo contraste:* el umbral de sensibilidad a bajo contraste en funcionamiento automático, estimado desde la imagen del monitor de televisión, debería ser 4 por 100 o inferior.

D) *Temporizador:* deberá haber un dispositivo que advierta al operador cuando haya transcurrido un tiempo determinado de antemano, no superior a diez minutos.

E) *Cine*: para estudios con cine convencional que utilicen un intensificador de imagen de 23 cm de diámetro, la tasa de dosis a la entrada del intensificador debería ser inferior a 0,20 μGy /fotograma. Las tasas de dosis típicas en pacientes serán de 0,10 a 0,30 Gy/min para 25 fotogramas/s con un maniquí de 20 cm de PMMA.

F) *Tamaño del campo de radiación/imagen*: la relación entre las áreas del campo de radiación y la superficie de entrada del intensificador de imagen no debe ser superior a 1,15. Se considera conveniente ver los bordes de los colimadores en la imagen televisada.

4. TOMOGRAFIA CONVENCIONAL Y COMPUTARIZADA

Requisitos adicionales para tomografía convencional y computarizada.

1. *Tomografía convencional*:

- a) Altura del corte: la diferencia entre la altura del corte indicada y la medida debería ser inferior a ± 5 mm.
- b) Incremento del plano del corte: al pasar desde un plano de corte tomográfico al siguiente, la altura del corte debería ser reproducible en ± 2 mm.
- c) Uniformidad de la altura del corte: la densidad de la imagen de un orificio en una lámina de plomo deberá ser casi uniforme, o bien debe variar en uniformidad de acuerdo con el patrón previsto en la unidad tomográfica de que se trate. La imagen no debe reflejar solapamientos inesperados, variaciones de exposición o asimetrías en movimiento.
- d) Resolución espacial: la unidad tomográfica debe ser capaz de resolver una trama de 1,6 pl/mm.

2. *Tomografía computarizada (TC)*:

- a) Ruido de la imagen: la desviación típica de los números de TC en un área de 500 mm² de la región central de la imagen de un maniquí de agua o material equivalente, no debe exceder en más del 20 por 100 del valor de referencia.
- b) Valores del número de TC: la desviación de los valores de los números de TC en el agua o en material equivalente y en materiales de densidades diferentes en una posición fija en el campo debe ser inferior ± 20 UH o al 5 por 100 respecto al valor teórico.
- c) Índice de dosis de tomografía computarizada (IDTC): los valores medidos del IDTC en un solo corte para cada filtro y para cada espesor de corte no se debe desviar en más del ± 20 por 100 del valor de referencia.
- d) Espesor de corte de radiación: la anchura a la mitad de la altura máxima del perfil de dosis no debe diferir en más de ± 20 por 100 de los valores de referencia.
- e) Resolución a alto contraste (resolución espacial): los valores medidos de la anchura a la mitad de la altura máxima de la función de dispersión de punto (PSF) obtenida para un hilo delgado, o la función de respuesta de un borde neto, no debe ser mayor de ± 20 por 100 del valor de referencia.
- f) Resolución a bajo contraste: los cilindros de poliestireno de 0,35 cm de diámetro insertados en un maniquí homogéneo de agua deberán ser visibles en la imagen. El maniquí utilizado deberá ser de tamaño estándar de «cuerpo».

5. RADIOGRAFIA DENTAL

Requisitos adicionales para equipos de radiografía dental.

Los criterios se refieren al equipo radiográfico dental que utilice una película intra-oral (o una película extra-oral con los mismos equipos), pero excluyen el equipo de radiología dental panorámica.

- a) Calidad de la radiación: la tensión del tubo debe ser de 50 kV, como mínimo.
- b) Filtración: para tensiones del tubo de hasta 70 kV la filtración en el haz útil debe ser equivalente a 1,5 mm de Al, como mínimo, y a 2,5 mm si se superan 70 kV.
- c) Distancia foco-piel: la distancia del foco a la piel del paciente debe ser de 20 cm, como mínimo, con equipos cuyas tensiones máximas seleccionables superen 60 kV, y de 10 cm como mínimo si las tensiones máximas seleccionables son de 60 kV o inferiores.
- d) Tamaño del haz de radiación: el diámetro del campo en el extremo exterior del aplicador del haz debe ser de 60 mm como máximo.
- e) Temporizador:
 - 1º La exactitud debe ser mejor del 20 por 100.
 - 2º La reproducibilidad debe ser mejor del 10 por 100.
- f) Rendimiento del tubo: para tensiones del tubo en el intervalo de 50-70 kV, el rendimiento debe ser de 30-80 $\mu\text{Gy/mAs}$ a 1 m del foco.

6. MAMOGRAFIA

1. *Generación y control del haz de rayos X.*

A) Fuente de rayos X.

- a) Tasa de dosis: la tasa de dosis a una distancia igual a la distancia foco-película (DFP) deberá ser de 7,5 mGy/s, como mínimo.
- b) Distancia foco-película: la distancia foco-película deberá cumplir la especificación del fabricante y, en general, será ≥ 600 mm.
- c) Alineación del campo de rayos X con el receptor de imagen: lado del tórax: los rayos X deben cubrir la película sin sobresalir más de 5 mm fuera de la misma. Lados laterales: los rayos X deben cubrir la película hasta los bordes.

B) Tensión del tubo.

Exactitud y reproducibilidad: la exactitud debe ser mejor que ± 1 kV para todas las tensiones entre 25 y 31 kV; la reproducibilidad debe ser mejor que $\pm 0,5$ kV.

C) Sistema del control automático de la exposición (CAE).

a) Ajuste del control de densidad óptica:

1º La densidad óptica (incluidos base y velo) en el punto de referencia de la película revelada debe permanecer dentro de $\pm 0,15$ DO del valor previsto. El valor adecuado que se recomienda para la densidad óptica en el punto de referencia está comprendido entre 1,3 y 1,8 DO, base y velo incluidos.

2º El incremento de densidad óptica por escalón en el selector de densidades debe estar entre 0,10-0,20 DO.

b) Reproducibilidad para tiempos cortos: la desviación del valor medio de las exposiciones debe ser inferior al 5 por 100.

c) Reproducibilidad para tiempos largos: la reproducibilidad para tiempos largos debe ser mejor que $\pm 0,20$ DO del valor de la densidad óptica de referencia.

d) Compensación con el espesor del objeto: las variaciones de densidad óptica que se produzcan al variar el espesor del objeto deberían estar dentro del $\pm 0,15$ DO respecto de la densidad óptica de referencia.

e) Compensación de la tensión del tubo: las variaciones de densidad óptica que se produzcan al variar la tensión deberían estar dentro del $\pm 0,15$ DO respecto de la densidad óptica de referencia.

D) Compresión.

a) Fuerza de compresión: la compresión del tejido de la mama debe ser firme, pero tolerable. No hay valor óptimo conocido de la fuerza a ejercer, pero debe prestarse atención a la compresión aplicada y a la exactitud del valor indicado. La fuerza máxima aplicada automáticamente debe estar comprendida entre 130 y 200 N (13 a 20 kg).

b) Alineación de la placa de compresión: se admite una desalineación mínima, es aceptable que sea de 15 mm para una carga asimétrica en la dirección del pezón, y menos de 5 mm para una carga simétrica.

2. *Rejilla antidifusora y receptor de la imagen.*

a) Rejilla antidifusora: el factor de exposición del sistema de rejilla debe ser ≤ 3 .

b) Diferencias de sensibilidad entre las cartulinas y de atenuación en tre los chasis cuando las exposiciones se realizan seleccionando los mismos parámetros del equipo de rayos X y con CAE:

1º El intervalo de exposiciones, expresado en mGy (o mAs) debe estar dentro de ± 5 por 100 para todos los chasis.

2º La diferencia máxima de densidad óptica entre todos los chasis debe ser menor que 0,20 DO.

c) Procesado de la película:

1º Base y velo para películas convencionales: Este valor debería ser $\leq 0,2$ DO.

2º Índice de velocidad: ± 10 por 100 con respecto al valor de referencia.

3º Contraste: el gradiente medio debería ser $< 2,8$.

3. *Condiciones de visualización.*

Negatoscopio: el brillo debería estar entre 2.000 y 6.000 cd/cm². El nivel de luz ambiental debe ser inferior a 50 lux.

4. *Propiedades del sistema.*

a) Dosis de referencia: el kerma aire en la superficie de entrada debe ser ≥ 10 mGy para un maniquí de 40 mm de PMMA, ≥ 12 mGy para 45 mm PMMA y ≥ 20 mGy para 50 mm de PMMA.

b) Calidad de la imagen:

1º Resolución espacial.

Con la rejilla de resolución situada a 4 cm por encima del tablero (sobre PMMA), en la línea central y a 6 cm del lado que corresponde a la pared del tórax, la resolución medida en las dos direcciones del foco debe ser superior a 12 pl/mm.

2º Umbral de sensibilidad a bajo contraste.

Para las medidas del umbral de contraste con detalles de gran tamaño dentro de un maniquí de 45 mm de PMMA, se sugiere un valor límite del contraste $< 1,3$ por 100 para los detalles de 6 mm.

c) Tiempo de exposición: el tiempo de exposición necesario para obtener la imagen de un maniquí de 45 mm PMMA debe ser inferior a 2 s.

CORRECCION DE ERRORES CON MARGINAL 2000\335

En el Anexo III, apartado 6.1 C), párrafo b), primera línea, donde dice: «b) Reproducibilidad para tiempos cortos:...», debe decir: «b) Reproducibilidad a corto plazo:...». Y en el párrafo c), primera línea, donde dice: «c) Reproducibilidad para tiempos largos: la reproducibilidad para tiempos largos debe ser...», debe decir: «c) Reproducibilidad a largo plazo: la reproducibilidad a largo plazo debe ser...».

En el Anexo III, apartado 6.2 c), párrafo 3º, donde dice: «... el gradiente medio debería ser 2,8.», debe decir: «... el gradiente medio debería ser 2,8.».

ANEXO-D

Cuestionarios-Departamento Imagenología

NÚMERO DE ENCUESTADOS: 4
CON EL CARGO DE: MÉDICO ADSCRITO.

PREGUNTA:		Respuestas que reflejan Éxito o Fracaso de la seguridad efectiva de la institución		OBSERVACIONES (comentarios de los trabajadores)
		Éxito	Fracaso	
1.	¿Quién es el responsable de las políticas de seguridad radiológica y su implementación en el hospital?	2	2	
2.	¿Hay otro departamento responsable de la seguridad?	0	4	
3.	¿Conoce el asesor especializado en seguridad radiológica del hospital?	2	2	
4.	¿Hay personas/representantes o comités de seguridad asignados? (si las hay mencionar quiénes son y cómo están organizados)	1	3	
5.	¿Hay mecanismos que indiquen como los empleados contribuyen a la seguridad radiológica? (si existen los mecanismos mencionarlos con detalle)	0	4	
6.	¿Quién es el responsable de organizar las auditorías y revisiones?	0	4	
7.	¿Con qué frecuencia se llevan a cabo?	1	3	Creo que anual
8.	¿Se cuenta con objetivos de seguridad radiológica? (describirlos con detalle)	0	4	
9.	¿Se traducen (realmente se llevan a cabo) los objetivos de seguridad radiológica en actividades estructuradas sistemáticamente las cuales deben estar diseñadas para cumplir las metas trazadas? (describir con detalle)	1	3	
10.	¿Tiene algún plan de organización de los recursos (económicos/humanos) que aseguren a cabo las actividades mencionadas anteriormente de una manera eficiente? (describir con detalle)	0	4	
11.	¿Se lleva a cabo monitoreo y control adecuado de las actividades laborales para cumplir con el plan de seguridad? (describir con detalle)	0	4	
12.	¿Se cumple con la Ley y las normas preventivas?, ¿se ha intentado detectar cuál es la falla desde el punto de vista de Gestión Preventiva?	0	4	
13.	¿Por qué cree usted que seguimos teniendo	3	1	

	excesos de accidentes en áreas hospitalarias?			
14.	¿En un accidente radiológico cual es la responsabilidad del encargado de seguridad radiológica, del representante legal y del POE?	0	4	
15.	¿Existe comunicación en materia preventiva de los niveles directivos a los trabajadores, y viceversa?	1	3	
16.	¿Qué significa para usted "La política preventiva del hospital"?, cumplir las normas o existe un interés colectivo e integral en la prevención de riesgos	1	3	
17.	¿Qué tipo de seguridad existe en las instalaciones radiológicas donde labora?	1	3	
18.	¿Qué tipo de seguridad personal radiológico tiene?	3	1	
19.	¿Qué tipo de dosimetría conoce?	2	2	
20.	¿Conoce su dosimetría mensual y acumulada?	2	2	
21.	¿Lleva a cabo usted su control asimétrico dentro y fuera del hospital?	2	2	
22.	¿Conoce los principios de protección radiológica?	3	1	
23.	¿Sabe de la existencia de la limitación de dosis?	0	4	
24.	¿El hospital tiene algún plan de contingencia para incidentes y accidentes radiológicos?	0	4	
25.	¿Conoce el punto de reunión en caso de una emergencia radiológica?	1	3	
26.	¿A quién acude en caso de una emergencia radiológica?	0	4	No me he visto en la necesidad
27.	¿Sabe de los riesgos radiológicos para el POE?	2	2	
28.	¿Sabe de los riesgos y cuidados en etapa fértil y embarazo de la mujer POE?	1	3	
29.	¿Conoce el Símbolo Internacional de la radiación?	2	2	
30.	¿Qué le indica el Símbolo Internacional de radiación?	1	3	
31.	¿Conoce los efectos biológicos de los rayos-X?	1	3	
32.	¿Cómo se debe cuidar de los rayos-X?	0	4	
33.	¿Conoce en detalle de los equipos de radiación existentes en el hospital?	1	3	
34.	¿Tiene entrenamiento periódico de la protección radiológica?	2	2	
35.	¿Tiene conocimiento de algún accidente radiológico en su centro de trabajo?	0	4	
36.	¿Ha mejorado la seguridad Física y Radiológica del departamento de Radiología del hospital?	1	3	No he visto modificaciones
Efectividad del sistema de seguridad de la institución.		37	107	25.69%
37.	¿Qué sugiere usted para que en su departamento exista mejor seguridad?	Inf. sobre lo que existe, que se use lo existente, poner en práctica las medidas de seguridad		
38.	¿Tiene alguna duda o comentario?	Dar a conocer estos programas		

NÚMERO DE ENCUESTADOS: 10
CON EL CARGO DE: TÉCNICO RADIÓLOGO.

PREGUNTA:		Respuestas que reflejan Éxito o Fracaso de la seguridad efectiva de la institución		OBSERVACIONES
		Éxito	Fracaso	
1.	¿Quién es el responsable de las políticas de seguridad radiológica y su implementación en el hospital?	7	3	
2.	¿Hay otro departamento responsable de la seguridad?	1	9	
3.	¿Conoce el asesor especializado en seguridad radiológica del hospital?	2	8	
4.	¿Hay personas/representantes ó comités de seguridad asignados? (si las hay mencionar quiénes son y cómo están organizados)	4	6	
5.	¿Hay mecanismos que indiquen como los empleados contribuyen a la seguridad radiológica? (si existen los mecanismos mencionarlos con detalle)	1	9	
6.	¿Quién es el responsable de organizar las auditorías y revisiones?	4	6	
7.	¿Con qué frecuencia se llevan a cabo?	3	7	
8.	¿Se cuenta con objetivos de seguridad radiológica? (describirlos con detalle)	3	7	
9.	¿Se traducen (realmente se llevan a cabo) los objetivos de seguridad radiológica en actividades estructuradas sistemáticamente las cuales deben estar diseñadas para cumplir las metas trazadas? (describir con detalle)	0	10	No se conocen, y se llevan con irregularidad sin ninguna meta, no les importan los pacientes, equipos de RX adaptados a digitales.
10.	¿Tiene algún plan de organización de los recursos (económicos/humanos) que aseguren a cabo las actividades mencionadas anteriormente de una manera eficiente? (describir con detalle)	0	10	Nunca me lo he planteado
11.	¿Se lleva a cabo monitoreo y control adecuado de las actividades laborales para cumplir con el plan de seguridad? (describir con detalle)	0	10	"No hay monitoreo diario"
12.	¿Se cumple con la Ley y las normas preventivas?, ¿se ha intentado detectar cuál es la falla desde el punto de vista de Gestión Preventiva?	1	9	
13.	¿Por qué cree usted que seguimos teniendo excesos de accidentes en áreas hospitalarias?	3	7	¿Que accidentes?
14.	En un accidente radiológico ¿cuál es la responsabilidad del encargado de seguridad radiológica, del representante legal y del POE?	1	9	"No se ha presentado una situación así"
15.	¿Existe comunicación en materia preventiva de los niveles directivos a los trabajadores, y	1	9	Solo los resultados de la dosimetría personal

	viceversa?			
16.	¿Qué significa para usted "La política preventiva del hospital"?, cumplir las normas o existe un interés colectivo e integral en la prevención de riesgos	2	8	
17.	¿Qué tipo de seguridad existe en las instalaciones radiológicas donde labora?	10	0	
18.	¿Qué tipo de seguridad personal radiológico tiene?	10	0	
19.	¿Qué tipo de dosimetría conoce?	2	8	
20.	¿Conoce su dosimetría mensual y acumulada?	2	8	
21.	¿Lleva a cabo usted su control asimétrico dentro y fuera del hospital?	4	6	
22.	¿Conoce los principios de protección radiológica?	10	0	
23.	¿Sabe de la existencia de la limitación de dosis?	0	10	
24.	¿El hospital tiene algún plan de contingencia para incidentes y accidentes radiológicos?	0	10	
25.	¿Conoce el punto de reunión en caso de una emergencia radiológica?	2	8	
26.	¿A quién acude en caso de una emergencia radiológica?	9	1	
27.	¿Sabe de los riesgos radiológicos para el POE?	10	0	
28.	¿Sabe de los riesgos y cuidados en etapa fértil y embarazo de la mujer POE?	1	9	
29.	¿Conoce el Símbolo Internacional de la radiación?	8	2	
30.	¿Qué le indica el Símbolo Internacional de radiación?	3	7	
31.	¿Conoce los efectos biológicos de los rayos-X?	3	7	
32.	¿Cómo se debe cuidar de los rayos-X?	6	4	
33.	¿Conoce en detalle de los equipos de radiación existentes en el hospital?	8	2	
34.	¿Tiene entrenamiento periódico de la protección radiológica?	10	0	Son esporádicos
35.	¿Tiene conocimiento de algún accidente radiológico en su centro de trabajo?	1	9	
36.	¿Ha mejorado la seguridad Física y Radiológica del departamento de Radiología del hospital?	4	6	No ha pasado nada
Efectividad del sistema de seguridad de la institución.		136	224	37.77 %
37.	¿Qué sugiere usted para que en su departamento exista mejor seguridad?			<ul style="list-style-type: none"> ○ Evitar tomar radiografías gratis (no justificadas). ○ Hacer mejor distribución de pacientes por sala. ○ Que solo tenga acceso el personal autorizado. ○ Revisar equipos ○ Parece que el encargado de legal

				<p>desconoce como debe estar estructurado el departamento de imagen.</p> <ul style="list-style-type: none"> o Mejor entrenamiento o Que ocupemos todo lo que tenemos para protegernos o Alimentación adecuada al personal o Periodos vacacionales o Más personal o Blindajes mayores en salas o Protectores de gónadas
38.	¿Tiene alguna duda o comentario?			Las preguntas deben clasificarse en áreas ¿Cuál es la finalidad de este cuestionamiento?

NÚMERO DE ENCUESTADOS: 1
CON EL CARGO DE: COORDINADOR.

PREGUNTA:		Respuestas que reflejan Éxito o Fracaso de la seguridad efectiva de la institución		OBSERVACIONES
		Éxito	Fracaso	
1.	¿Quién es el responsable de las políticas de seguridad radiológica y su implementación en el hospital?	0	1	Hay desconocimiento
2.	¿Hay otro departamento responsable de la seguridad?	0	1	Hay que integrar la seguridad
3.	¿Conoce el asesor especializado en seguridad radiológica del hospital?	1	0	
4.	¿Hay personas/representantes ó comités de seguridad asignados? (si las hay mencionar quiénes son y cómo están organizados)	0	1	
5.	¿Hay mecanismos que indiquen como los empleados contribuyen a la seguridad radiológica? (si existen los mecanismos mencionarlos con detalle)	0	1	Solo dosímetro
6.	¿Quién es el responsable de organizar las auditorías y revisiones?	1	0	Organizar auditorías y revisiones
7.	¿Con qué frecuencia se llevan a cabo?	0	1	"Nunca"
8.	¿Se cuenta con objetivos de seguridad radiológica? (describirlos con detalle)	0	1	Establecer objetivos en el departamento
9.	¿Se traducen (realmente se llevan a cabo) los objetivos de seguridad radiológica en actividades estructuradas sistemáticamente las cuales deben estar diseñadas para cumplir las metas trazadas? (describir con	0	1	

	detalle)			
10.	¿Tiene algún plan de organización de los recursos (económicos/humanos) que aseguren a cabo las actividades mencionadas anteriormente de una manera eficiente? (describir con detalle)	0	1	Ellos tienen planes, que la autoridad no toma en cuenta.
11.	¿Se lleva a cabo monitoreo y control adecuado de las actividades laborales para cumplir con el plan de seguridad? (describir con detalle)	0	1	
12.	¿Se cumple con la Ley y las normas preventivas?, ¿se ha intentado detectar cuál es la falla desde el punto de vista de Gestión Preventiva?	0	1	“Ni siquiera hay señalamientos”
13.	¿Por qué cree usted que seguimos teniendo excesos de accidentes en áreas hospitalarias?	1	0	Integrar la seguridad.
14.	En un accidente radiológico ¿cuál es la responsabilidad del encargado de seguridad radiológica, del representante legal y del POE?	0	1	Designar responsabilidades
15.	¿Existe comunicación en materia preventiva de los niveles directivos a los trabajadores, y viceversa?	0	1	“A las autoridades no les importa nuestra salud”
16.	¿Qué significa para usted “La política preventiva del hospital”?, cumplir las normas o existe un interés colectivo e integral en la prevención de riesgos	0	1	Demuestran desconocimiento
17.	¿Qué tipo de seguridad existe en las instalaciones radiológicas donde labora?	0	1	Solo conocimientos que traen de la escuela
18.	¿Qué tipo de seguridad personal radiológico tiene?	1	0	
19.	¿Qué tipo de dosimetría conoce?	0	1	
20.	¿Conoce su dosimetría mensual y acumulada?	0	1	“Solo la mensual”
21.	¿Lleva a cabo usted su control dosimétrico dentro y fuera del hospital?	0	1	Solo aquí, en el hospital
22.	¿Conoce los principios de protección radiológica?	0	1	“No los recuerda”
23.	¿Sabe de la existencia de la limitación de dosis?	1	0	
24.	¿El hospital tiene algún plan de contingencia para incidentes y accidentes radiológicos?	0	1	
25.	¿Conoce el punto de reunión en caso de una emergencia radiológica?	0	1	
26.	¿A quién acude en caso de una emergencia radiológica?	0	1	
27.	¿Sabe de los riesgos radiológicos para el POE?	1	0	
28.	¿Sabe de los riesgos y cuidados en etapa fértil y embarazo de la mujer POE?	1	0	
29.	¿Conoce el Símbolo Internacional de la radiación?	1	0	
30.	¿Qué le indica el símbolo internacional de radiación?	1	0	
31.	¿Conoce los efectos biológicos de los rayos-X?	0	1	

32.	¿Cómo se debe cuidar de los rayos-X?	1	0	
33.	¿Conoce en detalle de los equipos de radiación existentes en el hospital?	0	1	
34.	¿Tiene entrenamiento periódico de la protección radiológica?	1	0	
35.	¿Tiene conocimiento de algún accidente radiológico en su centro de trabajo?	0	1	
36.	¿Ha mejorado la seguridad Física y Radiológica del departamento de Radiología del hospital?	1	0	
<i>Efectividad del sistema de seguridad de la institución.</i>		12	24	33.33 %
37.	¿Qué sugiere usted para que en su departamento exista mejor seguridad?			
38.	¿Tiene alguna duda o comentario?			

NÚMERO DE ENCUESTADOS: 1.
CON EL CARGO DE: JEFE DE DEPARTAMENTO.

PREGUNTA:	Respuestas que reflejan Éxito o Fracaso de la seguridad efectiva de la institución		OBSERVACIONES
	Éxito	Fracaso	
1. ¿Quién es el responsable de las políticas de seguridad radiológica y su implementación en el hospital?	1	0	
2. ¿Hay otro departamento responsable de la seguridad?	0	1	Integrar seguridad
3. ¿Conoce el asesor especializado en seguridad radiológica del hospital?	1	0	No demuestra conocimiento
4. ¿Hay personas/representantes ó comités de seguridad asignados? (si las hay mencionar quiénes son y cómo están organizados)	0	1	
5. ¿Hay mecanismos que indiquen como los empleados contribuyen a la seguridad radiológica? (si existen los mecanismos mencionarlos con detalle)	0	1	
6. ¿Quién es el responsable de organizar las auditorías y revisiones?	0	1	
7. ¿Con qué frecuencia se llevan a cabo?	0	1	
8. ¿Se cuenta con objetivos de seguridad radiológica? (describirlos con detalle)	0	1	
9. ¿Se traducen (realmente se llevan a cabo) los objetivos de seguridad radiológica en actividades estructuradas sistemáticamente las cuales deben estar diseñadas para cumplir las metas trazadas? (describir con detalle)	0	1	
10. ¿Tiene algún plan de organización de los recursos (económicos/humanos) que aseguren a cabo las actividades mencionadas anteriormente de una manera	0	1	

	eficiente? (describir con detalle)			
11.	¿Se lleva a cabo monitoreo y control adecuado de las actividades laborales para cumplir con el plan de seguridad? (describir con detalle)	0	1	
12.	¿Se cumple con la Ley y las normas preventivas?, ¿se ha intentado detectar cuál es la falla desde el punto de vista de Gestión Preventiva?	0	1	Siempre se han detectado fallas
13.	¿Por qué cree usted que seguimos teniendo excesos de accidentes en áreas hospitalarias?	0	1	Mala planeación de áreas
14.	En un accidente radiológico ¿cuál es la responsabilidad del encargado de seguridad radiológica, del representante legal y del POE?	0	1	
15.	¿Existe comunicación en materia preventiva de los niveles directivos a los trabajadores, y viceversa?	0	1	Casi nunca
16.	¿Qué significa para usted "La política preventiva del hospital"?, cumplir las normas o existe un interés colectivo e integral en la prevención de riesgos	1	0	
17.	¿Qué tipo de seguridad existe en las instalaciones radiológicas donde labora?	1	0	
18.	¿Qué tipo de seguridad personal radiológico tiene?	1	0	
19.	¿Qué tipo de dosimetría conoce?	1	0	
20.	¿Conoce su dosimetría mensual y acumulada?	0	1	
21.	¿Lleva a cabo usted su control dosimétrico dentro y fuera del hospital?	0	1	
22.	¿Conoce los principios de protección radiológica?	1	0	
23.	¿Sabe de la existencia de la limitación de dosis?	0	1	
24.	¿El hospital tiene algún plan de contingencia para incidentes y accidentes radiológicos?	0	1	
25.	¿Conoce el punto de reunión en caso de una emergencia radiológica?	0	1	
26.	¿A quién acude en caso de una emergencia radiológica?	0	1	
27.	¿Sabe de los riesgos radiológicos para el POE?	1	0	
28.	¿Sabe de los riesgos y cuidados en etapa fértil y embarazo de la mujer POE?	1	0	
29.	¿Conoce el Símbolo Internacional de la radiación?	0	1	
30.	¿Qué le indica el Símbolo Internacional de radiación?	1	0	
31.	¿Conoce los efectos biológicos de los rayos-X?	1	0	
32.	¿Cómo se debe cuidar de los rayos-X?	1	0	
33.	¿Conoce en detalle de los equipos de radiación existentes en el hospital?	0	1	
34.	¿Tiene entrenamiento periódico de la protección radiológica?	1	0	

35.	¿Tiene conocimiento de algún accidente radiológico en su centro de trabajo?	0	1	
36.	¿Ha mejorado la seguridad Física y Radiológica del departamento de Radiología del hospital?	0	1	No hay parámetro anterior
Efectividad del sistema de seguridad de la institución.		13	23	36.11 %
37.	¿Qué sugiere usted para que en su departamento exista mejor seguridad?			Mejor planeación de áreas
38.	¿Tiene alguna duda o comentario?			

NÚMERO DE ENCUESTADOS: 2.
CON EL CARGO DE: ENFERMERAS (OS).

PREGUNTA:		Respuestas que reflejan Éxito o Fracaso de la seguridad efectiva de la institución		OBSERVACIONES
		Éxito	Fracaso	
1.	¿Quién es el responsable de las políticas de seguridad radiológica y su implementación en el hospital?	1	1	
2.	¿Hay otro departamento responsable de la seguridad?	1	1	
3.	¿Conoce el asesor especializado en seguridad radiológica del hospital?	1	1	
4.	¿Hay personas/representantes ó comités de seguridad asignados? (si las hay mencionar quiénes son y cómo están organizados)	0	2	
5.	¿Hay mecanismos que indiquen como los empleados contribuyen a la seguridad radiológica? (si existen los mecanismos mencionarlos con detalle)	0	2	
6.	¿Quién es el responsable de organizar las auditorias y revisiones?	0	2	
7.	¿Con qué frecuencia se llevan a cabo?	0	2	
8.	¿Se cuenta con objetivos de seguridad radiológica? (describirlos con detalle)	0	2	
9.	¿Se traducen (realmente se llevan a cabo) los objetivos de seguridad radiológica en actividades estructuradas sistemáticamente las cuales deben estar diseñadas para cumplir las metas trazadas? (describir con detalle)	0	2	
10.	¿Tiene algún plan de organización de los recursos (económicos/humanos) que aseguren a cabo las actividades mencionadas anteriormente de una manera eficiente? (describir con detalle)	0	2	
11.	¿Se lleva a cabo monitoreo y control adecuado de las actividades laborales para cumplir con el plan de seguridad? (describir con detalle)	0	2	

12.	¿Se cumple con la Ley y las normas preventivas?, ¿se ha intentado detectar cuál es la falla desde el punto de vista de Gestión Preventiva?	0	2	
13.	¿Por qué cree usted que seguimos teniendo excesos de accidentes en áreas hospitalarias?	2	0	
14.	En un accidente radiológico ¿cuál es la responsabilidad del encargado de seguridad radiológica, del representante legal y del POE?	0	2	
15.	¿Existe comunicación en materia preventiva de los niveles directivos a los trabajadores, y viceversa?	0	2	
16.	¿Qué significa para usted "La política preventiva del hospital"?, cumplir las normas o existe un interés colectivo e integral en la prevención de riesgos	0	2	
17.	¿Qué tipo de seguridad existe en las instalaciones radiológicas donde labora?	2	0	
18.	¿Qué tipo de seguridad personal radiológico tiene?	2	0	
19.	¿Qué tipo de dosimetría conoce?	1	1	
20.	¿Conoce su dosimetría mensual y acumulada?	2	0	
21.	¿Lleva a cabo usted su control dosimétrico dentro y fuera del hospital?	0	2	
22.	¿Conoce los principios de protección radiológica?	2	0	
23.	¿Sabe de la existencia de la limitación de dosis?	0	2	
24.	¿El hospital tiene algún plan de contingencia para incidentes y accidentes radiológicos?	0	2	
25.	¿Conoce el punto de reunión en caso de una emergencia radiológica?	0	2	
26.	¿A quién acude en caso de una emergencia radiológica?	0	2	
27.	¿Sabe de los riesgos radiológicos para el POE?	0	2	
28.	¿Sabe de los riesgos y cuidados en etapa fértil y embarazo de la mujer POE?	1	1	
29.	¿Conoce el Símbolo Internacional de la radiación?	0	2	
30.	¿Qué le indica el Símbolo Internacional de radiación?	0	2	
31.	¿Conoce los efectos biológicos de los rayos-X?	0	2	
32.	¿Cómo se debe cuidar de los rayos-X?	0	2	
33.	¿Conoce en detalle de los equipos de radiación existentes en el hospital?	0	2	
34.	¿Tiene entrenamiento periódico de la protección radiológica?	1	1	
35.	¿Tiene conocimiento de algún accidente radiológico en su centro de trabajo?	0	2	
36.	¿Ha mejorado la seguridad Física y Radiológica del departamento de Radiología del hospital?	0	2	

<i>Efectividad del sistema de seguridad de la institución.</i>		16	56	22.22 %
37.	¿Qué sugiere usted para que en su departamento exista mejor seguridad?			Mayor información sobre el cuestionamiento
38.	¿Tiene alguna duda o comentario?			

**NÚMERO DE ENCUESTADOS: 2.
CON EL CARGO DE: RESIDENTES.**

PREGUNTA:		Respuestas que reflejan Éxito o Fracaso de la seguridad efectiva de la institución		OBSERVACIONES
		Éxito	Fracaso	
1.	¿Quién es el responsable de las políticas de seguridad radiológica y su implementación en el hospital?	1	1	
2.	¿Hay otro departamento responsable de la seguridad?	0	2	
3.	¿Conoce el asesor especializado en seguridad radiológica del hospital?	1	1	
4.	¿Hay personas/representantes ó comités de seguridad asignados? (si las hay mencionar quiénes son y cómo están organizados)	0	2	
5.	¿Hay mecanismos que indiquen como los empleados contribuyen a la seguridad radiológica? (si existen los mecanismos mencionarlos con detalle)	0	2	
6.	¿Quién es el responsable de organizar las auditorias y revisiones?	0	2	
7.	¿Con qué frecuencia se llevan a cabo?	1	1	
8.	¿Se cuenta con objetivos de seguridad radiológica? (describirlos con detalle)	0	2	
9.	¿Se traducen (realmente se llevan a cabo) los objetivos de seguridad radiológica en actividades estructuradas sistemáticamente las cuales deben estar diseñadas para cumplir las metas trazadas? (describir con detalle)	0	2	
10.	¿Tiene algún plan de organización de los recursos (económicos/humanos) que aseguren a cabo las actividades mencionadas anteriormente de una manera eficiente? (describir con detalle)	0	2	
11.	¿Se lleva a cabo monitoreo y control adecuado de las actividades laborales para cumplir con el plan de seguridad? (describir con detalle)	0	2	
12.	¿Se cumple con la Ley y las normas preventivas?, ¿se ha intentado detectar cuál es la falla desde el punto de vista de Gestión Preventiva?	1	1	
13.	¿Por qué cree usted que seguimos teniendo excesos de accidentes en áreas	0	2	

	hospitalarias?			
14.	En un accidente radiológico ¿cuál es la responsabilidad del encargado de seguridad radiológica, del representante legal y del POE?	0	2	
15.	¿Existe comunicación en materia preventiva de los niveles directivos a los trabajadores, y viceversa?	0	2	
16.	¿Qué significa para usted "La política preventiva del hospital"?, cumplir las normas o existe un interés colectivo e integral en la prevención de riesgos	0	2	
17.	¿Qué tipo de seguridad existe en las instalaciones radiológicas donde labora?	0	2	
18.	¿Qué tipo de seguridad personal radiológico tiene?	0	2	
19.	¿Qué tipo de dosimetría conoce?	1	1	
20.	¿Conoce su dosimetría mensual y acumulada?	1	1	
21.	¿Lleva a cabo usted su control disimétrico dentro y fuera del hospital?	1	1	
22.	¿Conoce los principios de protección radiológica?	1	1	
23.	¿Sabe de la existencia de la limitación de dosis?	1	1	
24.	¿El hospital tiene algún plan de contingencia para incidentes y accidentes radiológicos?	0	2	
25.	¿Conoce el punto de reunión en caso de una emergencia radiológica?	1	1	
26.	¿A quién acude en caso de una emergencia radiológica?	0	2	
27.	¿Sabe de los riesgos radiológicos para el POE?	1	1	
28.	¿Sabe de los riesgos y cuidados en etapa fértil y embarazo de la mujer POE?	0	2	
29.	¿Conoce el Símbolo Internacional de la radiación?	1	1	
30.	¿Qué le indica el Símbolo Internacional de radiación?	1	1	
31.	¿Conoce los efectos biológicos de los rayos-X?	1	1	
32.	¿Cómo se debe cuidar de los rayos-X?	1	1	
33.	¿Conoce en detalle de los equipos de radiación existentes en el hospital?	1	1	
34.	¿Tiene entrenamiento periódico de la protección radiológica?	0	2	
35.	¿Tiene conocimiento de algún accidente radiológico en su centro de trabajo?	0	2	
36.	¿Ha mejorado la seguridad Física y Radiológica del departamento de Radiología del hospital?	1	1	
<i>Efectividad del sistema de seguridad de la institución.</i>		17	55	23.61 %
37.	¿Qué sugiere usted para que en su departamento exista mejor seguridad?			Cursos y pláticas para los residentes
38.	¿Tiene alguna duda o comentario?			