

T
1373

135240



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

UNIDAD XOCHIMILCO

**DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
DEPARTAMENTO DE ATENCIÓN A LA SALUD**

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN SALUD DE LOS TRABAJADORES

**EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD Y PROTECCIÓN
RADIOLÓGICA EN UN SERVICIO DE RADIOTERAPIA DE UN
HOSPITAL DE TERCER NIVEL, EN EL DISTRITO FEDERAL**

**IDÓNEA COMUNICACIÓN DE RESULTADOS
QUE PRESENTA**

TRINIDAD GABRIELA CARRANZA BERNARDO

**PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIAS EN SALUD DE LOS TRABAJADORES**

**DIRECTORES: DR. JESÚS GABRIEL FRANCO ENRÍQUEZ
DR. ENRIQUE GAONA**

MÉXICO, D.F., ABRIL DE 2011

Contenido

Introducción	1
1. El trabajo, riesgos y exigencias	6
1.1 El trabajo desde el punto de vista social	7
1.2 Riesgos y exigencias en el trabajo	10
2. Breve reseña y aplicación general de las radiaciones ionizantes	16
2.1 Antecedentes de la radiología en el mundo	16
2.2 La diversidad en el empleo de las radiaciones ionizantes	24
2.3 Unidades radiológicas y dosimetría	27
3. Aplicación de la radioterapia y experiencias de evaluación	30
3.1 Los servicios de radioterapia	30
3.2 Daños a la salud por radiaciones ionizantes	37
3.3 Experiencias en el estudio y evaluación de las radiaciones ionizantes	42
4. Protección y seguridad radiológica en radioterapia	51
4.1 Requisitos y principios básicos de protección en radioterapia	51
4.2 Normatividad de los establecimientos de radioterapia	56
5. Metodología para verificación de la seguridad y protección radiológica en un servicio de radioterapia	62
6. Resultados	69
6.1 Cédula de Información General del Establecimiento (CIGE)	69
6.2 Diagramas Complejos de Salud en el Trabajo	72
6.3 Cuestionario de Verificación	102
6.4 Recomendaciones	113
Conclusiones generales	119
Referencias bibliográficas	122

DEDICATORIAS:

A mis hijas: Carolina, Ariadna y Cecilia Gabriela, gracias por darme fortaleza ante tantas debilidades, su sonrisa y sus abrazos, los miles de “te quiero mami” y tantas cosas más que guardo en mi mente y mi corazón.
Las amo, que Dios las bendiga y cuide por siempre.

A mi esposo Arturo: Sin proponértelo, fuiste un motivo para el logro de esta meta. Que Dios te ilumine y bendiga por siempre.

A Paty Kelly: Porque sin conocerme, brindaste esperanza e iluminaste mi vida, me diste los elementos y yo los tomé, falta mucho trabajo, pero sé que lo lograré!. Mil gracias.

AGRADECIMIENTOS:

Al CONACYT, por el apoyo recibido, lo cual contribuyó a facilitar el cumplimiento de una de las metas más importantes en mi vida personal y profesional.

Al servicio de radioterapia de un hospital de tercer nivel ubicado en el Distrito Federal por abrirme las puertas y otorgarme la confianza para la realización de este trabajo.

A la Universidad Autónoma Metropolitana, por permitirme tener la oportunidad de crecer profesionalmente dentro de sus instalaciones. Aquí, he tenido la fortuna de recibir los beneficios que ofrecen las instalaciones físicas, pero lo más importante, conocer a cátedráticos con gran calidad profesional y humana, sensibles y conscientes de las diversas necesidades, principalmente educativas, culturales, sociales y de la salud de los trabajadores.

Gracias.

Un agradecimiento especial al Doctor Jesús Gabriel Franco Enríquez, quien me guió y enseñó que la investigación requiere dedicación, entrega y compromiso, entre otros aspectos, siempre resulta gratificante cumplir los objetivos. Gracias por su valiosa ayuda y confianza.

Al Dr. Enrique Gaona, por ayudarme a entender aspectos complejos y apoyar con su experiencia y conocimientos este trabajo.

A mis queridos maestros: Doctor Mariano Noriega Elío, Doctora Susana Martínez Alcántara, Doctora Margarita Pulido Navarro y Doctor Ricardo Cuéllar Romero, Gracias por todo.

Introducción.

A finales del siglo XVIII y principios del XIX, con la revolución industrial surgieron procesos, técnicas industriales y una organización y división de trabajo que transformaron las actividades productivas y sociales a nivel mundial; con lo cual aparecieron múltiples riesgos y exigencias en los lugares de trabajo, mismos que se tradujeron en daños a la salud de los trabajadores.

De esta manera, a lo largo del tiempo se han generado esfuerzos en diferentes partes del mundo para evidenciar los efectos negativos del proceso del trabajo, que repercuten en la salud, así como legislar para reconocer tales daños y proteger a los trabajadores afectados. Sin embargo, no se ha reconocido aún la importancia de conservar la salud, la integridad y dignidad del trabajador, no sólo como un derecho, sino como parte fundamental de un ser humano productivo.

A este respecto, datos difundidos por la Organización Internacional del Trabajo (OIT) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), reportan que cada año se registran alrededor de 270 millones de accidentes laborales y 160 millones de enfermedades relacionadas con el trabajo, lo cual origina más de 2 millones de muertes en el mundo por estas causas (OIT, 2004). Por su parte, la Oficina Europea de Estadística (EUROSTAT, por sus siglas en inglés) estima, según datos que se reportan de los sectores económicos registrados de 27 estados miembros de la Unión Europea (UE), que cada año mueren 5,720 personas como consecuencia de accidentes laborales (EU-OSHA, 2008. a). Por otro lado, la Organización Internacional del Trabajo calcula que otros 159,000 trabajadores mueren en la UE cada año a causa de enfermedades profesionales.

De acuerdo con información proporcionada por el Anuario de Estadísticas Laborales y de Asuntos Sociales de España, el número de muertes a causa de una enfermedad profesional ha aumentado de 15,508 defunciones en el año 2006 a 16,115 en 2007. Los principales motivos de enfermedad fueron a causa de cáncer, problemas cardiovasculares y respiratorios. En este documento se hace referencia a que las enfermedades profesionales se pueden manifestar incluso años después de la exposición al foco emisor y a veces es difícil demostrar que la enfermedad se debe a causas laborales (CSIF, 2008).

En los países en desarrollo la mayoría de los trabajadores forma parte de la economía informal, en la cual no suele existir un registro oficial de los accidentes y enfermedades relacionados con el trabajo, estos países enfrentan un desafío particular, ya que la tasa de accidentes ha aumentado en los últimos años (OIT, 2009).

En México podemos ver, en términos generales y de acuerdo a cifras oficiales, que en 1987 uno de cada tres mexicanos se encontraba sin acceso a los servicios de salud (Molina, 1989). Veinte años después, en 2009, con una población superior a los 110 millones de habitantes se calcula que el 58.7% de la población no tiene seguridad social y año con año este porcentaje crece debido al incremento del empleo informal y sin prestaciones (INEGI, 2009).

Este panorama empeora al observar que los nuevos esquemas empresariales, basados en la obtención de máximos beneficios económicos, dejan en último término la integridad del trabajador; de esta manera, la identificación y el registro de los eventos que puedan alterar ese bienestar quedan olvidados en casi todos los centros de trabajo, esto origina entre otros aspectos, el subregistro y malas prácticas que van en contra de la salud laboral.

“El subregistro, tanto en la frecuencia como en la gravedad de los accidentes, es un problema serio, ya que así las empresas evaden el gasto que ello implica, pero algunos datos muestran la realidad del problema, por ejemplo, es importante resaltar que la letalidad por accidentes de trabajo se ha incrementado, ya que en 1997 fallecían 29.9 trabajadores por cada 10,000 accidentes y en 2004 esta tasa era de 37.8. De cualquier manera, la gravedad y la letalidad de los accidentes, así como la detección tardía de las enfermedades de trabajo, revelan el deterioro de las condiciones laborales” (Noriega et al, 2008:5-12).

Por otro lado, cabe resaltar que en la mayoría de los casos las normas de prevención dirigidas a limitar los efectos nocivos en la salud de los trabajadores, se han desarrollado después de que se produjeron los daños; además, muchas de las consecuencias de las enfermedades de trabajo aparecen tiempo después de la exposición a los riesgos y exigencias que las originan. A este respecto, las funciones que desempeñan los trabajadores de la salud en la prevención, la curación y la rehabilitación, son importantes; pero esto no asegura que ellos mismos estén exentos de los peligros que existen en sus propios establecimientos de salud.

De acuerdo al Reglamento de la Ley General de Salud en materia de prestación de servicios de atención médica, los establecimientos se clasifican en tres niveles de atención (SSA, 2008). Una de las técnicas de diagnóstico más empleadas en los tres niveles de atención, son las radiografías simples, las cuales ayudan a los médicos establecer diagnósticos más precisos. Por su parte, la radioterapia es un procedimiento terapéutico común en el tercer nivel de atención y está dirigido principalmente al tratamiento del cáncer.

La mayoría de los accidentes y enfermedades laborales pueden evitarse y el primer paso para ello es la prevención. Este fue el mensaje de la campaña europea de información titulada “Trabajos saludables - Bueno para ti. Buen negocio para todos” que lanzó la Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (EU-OSHA), la campaña estuvo dirigida en particular a los sectores de alto riesgo y tuvo una duración de dos años, 2008 y 2009 (EU-OSHA, 2008.b).

De esta manera, los trabajadores que laboran en los servicios de radiodiagnóstico y radioterapia deben ser objeto de un seguimiento minucioso, para comprobar el grado de exposición; pero además del personal ocupacionalmente expuesto (POE), los pacientes y el público en general pueden quedar expuestos a este tipo de riesgo y las medidas de protección deben ajustarse de acuerdo a la normatividad vigente en cada país.

Por lo tanto, se consideró importante llevar a cabo la evaluación de las condiciones de seguridad y protección radiológica de un servicio de radioterapia, perteneciente a un establecimiento de salud de tercer nivel, ubicado en el Distrito Federal. Esta evaluación incluyó las siguientes áreas: sala de espera; vestidores; salas de tratamiento; área de interpretación y control; almacén de fuentes radiológicas; y área de depósito de residuos biológico-infecciosos.

La metodología empleada en esta investigación es una adaptación del modelo holístico denominado Verificación, Diagnóstico y Vigilancia de la Salud Laboral en las Empresas. Dicho modelo evalúa aspectos tanto de índole cualitativa como cuantitativa y consta de tres instrumentos de recolección de información: 1) Cédula de Información General del Establecimiento (CIGE); 2) Diagramas Complejos de Salud en el Trabajo (DCST); y 3) Cuestionario de Verificación (CV).

El objetivo general de este estudio fue: verificar las condiciones de seguridad, higiene y protección radiológica de un servicio de radioterapia, perteneciente a un establecimiento de tercer nivel de atención del sistema de salud de nuestro país y ubicar los principales riesgos y exigencias que enfrenta el personal ocupacionalmente expuesto (POE) en los distintos procesos de trabajo de dicho servicio; así como construir una propuesta para evitar o disminuir las condiciones adversas detectadas en este sitio de trabajo.

Para tal efecto se plantearon siete objetivos específicos que se describen a continuación:

- Dar a conocer la propuesta para el desarrollo del proyecto de investigación a las autoridades del establecimiento.
- Conocer los diferentes procesos de trabajo del servicio de radioterapia.
- Aplicar la Cédula de Información General del Establecimiento para recolectar los principales datos del centro de atención y de los trabajadores.
- Ubicar los riesgos y exigencias que se derivan de los distintos procesos de trabajo, así como los probables daños a la salud del POE para elaborar los Diagramas Complejos de Salud en el Trabajo.
- Conocer las condiciones de seguridad y protección radiológica del establecimiento, a partir de los porcentajes de eficacia respectivos.
- Elaborar una propuesta de intervención para resolver los problemas detectados en el establecimiento estudiado.
- Entregar un informe a las autoridades del servicio de radioterapia que les facilite llevar a cabo las acciones preventivas necesarias, y evitar o disminuir los probables daños a la salud de los trabajadores, los pacientes y el público en general.

Este documento está estructurado en cinco capítulos, en el primero, llamado *El trabajo, riesgos y exigencias*, se plantea el concepto de trabajo desde el punto de vista social y la incorporación del hombre al proceso laboral; los riesgos y exigencias que se derivan de dicho proceso; así como las repercusiones que estos representan en la salud de los trabajadores.

El segundo capítulo, *Breve reseña y aplicación general de las radiaciones ionizantes*, se hace un recorrido por los antecedentes más importantes de la radioterapia a nivel mundial y nacional; se describen también algunas de las aplicaciones más comunes de las radiaciones ionizantes en radioterapia; y se cierra este capítulo con un repaso general de las unidades radiológicas y dosimetría empleadas en este campo.

Aplicación de la radioterapia y experiencias de evaluación, es el tercer capítulo, aquí se describe de manera general el proceso de trabajo de los servicios de radioterapia; las manifestaciones de daños a la salud, causados por radiaciones ionizantes; y concluye este capítulo con la revisión de algunos estudios enfocados a la evaluación de las radiaciones ionizantes en los centros de trabajo.

En el capítulo cuatro, llamado *Protección y seguridad radiológica en radioterapia*, se describen los principios básicos de la seguridad radiológica, cuya función es eminentemente preventiva; y se ofrece una relación detallada de la normatividad que rige en los establecimientos de radioterapia.

Metodología para la verificación de la seguridad y protección radiológica en un servicio de radioterapia conforma el capítulo cinco, en él se describe la metodología que se utilizó para el desarrollo del trabajo de investigación.

En los *Resultados*, capítulo seis, se presentan los resultados obtenidos de la aplicación de cada uno de los instrumentos de recolección de información: Cédula de Información General del Establecimiento (CIGE), Diagramas Complejos de Salud en el Trabajo y Cuestionario de Verificación; se cierra el capítulo con las recomendaciones que se derivaron de los resultados obtenidos.

Finalmente, en las *Conclusiones generales* se hace una síntesis de los resultados obtenidos, se analiza la utilidad y experiencia obtenidas durante la aplicación de la metodología, así como algunos obstáculos que se presentaron durante el desarrollo de este trabajo de investigación.

1. El trabajo, riesgos y exigencias.

En este capítulo se destacan los principales conceptos de la presente investigación, lo que nos permitirá tener mayor claridad en cuanto al desarrollo y las características mismas de la investigación. Aquí, se aborda la definición de trabajo; el proceso de trabajo y los elementos que lo conforman; la evolución del trabajo y de qué manera puede transformarse en una actividad de alto riesgo y tener repercusiones en la salud de los trabajadores.

De esta manera, el trabajo es un concepto básico y fundamental de nuestra tarea como investigadores en el área de la salud laboral, y es aquel que estimula al hombre a desarrollar diferentes actividades que le permiten no sólo satisfacer sus necesidades personales, sino también las necesidades de la sociedad.

Existen varias interpretaciones en las diferentes disciplinas respecto al concepto trabajo, por ejemplo, en el Diccionario de la Lengua Española encontramos una definición formal que se describe como: “ocupación retribuida” y “esfuerzo humano aplicado a la producción de riqueza” (RAE, 1992). Como se puede observar, estos términos encajan con el modelo económico capitalista en el cual las necesidades de un trabajador se dirigen básicamente a la retribución económica para poder subsistir y producir riqueza.

Por su parte, en el Diccionario de Administración y Finanzas (1993) nos encontramos con una enfoque económico en donde el trabajo es concebido como “un factor de la producción, representado por la actividad humana aplicada a la producción de bienes y servicios, y cuya retribución se denomina salario”.

En la siguiente descripción se refleja la interacción de la actividad humana con los recursos obtenidos de un ambiente externo: “El trabajo es, en primer término, un proceso entre la naturaleza y el hombre, proceso en el cual éste realiza, regula y controla mediante su propia acción su intercambio de materias con la naturaleza. Pone en acción las fuerzas naturales que forman su corporeidad, brazos y piernas, cabeza y manos, a fin de apoderarse de los materiales de la naturaleza bajo una forma útil para su propia vida...” (Marx, 1980:215); en este concepto como en los anteriores, el elemento fundamental para la transformación de los recursos que ofrece la naturaleza es la actividad humana. De ésta manera, el hombre emplea los recursos

que la naturaleza le ofrece y se transforma a sí mismo, desarrollando sus potencialidades tanto físicas como mentales.

En la salud laboral, la importancia de este término va más allá de una mera definición, implica entender el origen, impacto y transformaciones del trabajo en la vida del hombre, de acuerdo a su evolución histórica y a la modificación de sus necesidades.

1.1 El trabajo desde el punto de vista social.

El hombre se diferencia de otros seres vivos al poseer la capacidad de crear y producir medios de trabajo. La producción es una actividad humana específica que puede determinar incluso la forma de vida de los individuos.

Si consideramos las definiciones anteriores, resulta primordial establecer de manera clara y precisa un concepto de trabajo, para lo cual recurrimos al concepto que plantea Noriega (1989), en donde lo define como el medio mediante el cual el hombre produce bienes para satisfacer sus necesidades, donde se crea, se reproduce y produce a través del trabajo.

El trabajo se convierte entonces en la actividad fundamental del ser humano, la cual ha evolucionado y le ha permitido al hombre el desarrollo de sus capacidades; por ello el trabajo crea al propio hombre y éste a su vez, crea los elementos para su goce y disfrute. El trabajo, es el motor y el punto de partida del surgimiento y desarrollo de las sociedades (Noriega et al., 2005).

Por lo tanto, a partir de que el hombre existe ha tenido que satisfacer desde sus necesidades básicas, hasta las de seguridad, protección, pertenencia y reproductivas. Así, el objetivo central del trabajo siempre ha girado en torno a la satisfacción de las necesidades humanas y se ha alejado de ser un acto meramente instintivo o de supervivencia.

Podemos comprender entonces cómo la importancia de este concepto se incrementa durante la gran transformación técnica conocida como revolución industrial, que históricamente se manifiesta primero en Inglaterra. Este país, como algunos otros, aseguró materias primas y mercados que le permitieron desarrollar una gran industria gracias a su actividad marítima; a

su vez, estos países multiplicaron su capital e incrementaron en gran proporción la mano de obra en las diferentes áreas de producción, sobre todo en las de la rama textil y de metalurgia.

Por otro lado, contradictoriamente como consecuencia de este desarrollo y la aparición de inventos que favorecieron el desarrollo industrial, la mano de obra se vio desplazada en muchas industrias por el maquinismo.

Así, en una sociedad capitalista, el objetivo principal ya no sería la satisfacción de las necesidades del hombre, sino la producción de mercancías para la generación de ganancias. Los efectos de este tipo de sociedad para la mayoría de los trabajadores son el no ejercer ningún derecho sobre los bienes ni la forma cómo se producen y la pérdida del control sobre el desarrollo de sus capacidades físicas, mentales, intelectuales y materiales.

En cuanto al proceso de producción capitalista, este se compone de dos aspectos: uno técnico y otro social. Del aspecto técnico se deriva el proceso de trabajo, el cual se compone de cuatro elementos fundamentales: 1) los objetos de trabajo o materias primas; 2) los medios de trabajo, que son las máquinas, herramientas, equipos e instalaciones; 3) la actividad que realizan los trabajadores; y 4) la organización y división del trabajo.

El objeto de trabajo. Es el material sobre el que se actúa, el cual se transforma en producto final. Cuando el objeto de trabajo es producto de otro trabajo, también se le conoce como materia prima. Cuando en el objeto de trabajo no ha intervenido la mano del hombre se le conoce como materia bruta.

En el caso de los servicios de salud, el objeto de trabajo son los pacientes, los cuales son personas que se encuentran enfermas y que generalmente acuden a los servicios médicos en busca de una respuesta para eliminar dicha enfermedad. Aquí, el objeto de trabajo no se transforma, interactúa con un equipo formado por personal médico y paramédico cuando es sometido a diversas prácticas para recuperar la salud.

Los medios de trabajo. Son todos aquellos elementos que se usan para transformar el objeto en producto. Son el vehículo de la acción del trabajador sobre dicho objeto. El trabajador utiliza las propiedades mecánicas, físicas o químicas de los medios de trabajo para transformar el objeto. Las características específicas de un instrumento, determinarán la forma cómo el

trabajador lo utilice. Los medios de trabajo no son sólo instrumentos, máquinas, equipos automatizados o computarizados, sino también las instalaciones de cada centro laboral y su mobiliario.

En los servicios de salud los medios de trabajo se ajustan a las necesidades específicas de cada especialidad; en algunas áreas suele emplearse equipo de alta tecnología como es el caso de los servicios de radioterapia, en donde además se requiere de instalaciones blindadas que brinden protección contra las radiaciones ionizantes.

Al objeto y los medios de trabajo en conjunto se les llama medios de producción.

El trabajo. Es la actividad humana, sin este elemento no se genera la riqueza. La actividad que realiza el trabajador demanda esfuerzo físico y mental distinto, que requiere de un aprendizaje y de la adquisición de habilidades; además, depende del desarrollo técnico del proceso laboral y de la organización y división del trabajo.

La organización y división del trabajo. La organización del trabajo implica diversos aspectos que permitan gestionar de manera ordenada los recursos y las distintas actividades que desarrollan los grupos de trabajadores en un área laboral (Smith, 1999). Otra definición menciona que la división del trabajo es la desagregación de una actividad compleja en componentes, a fin de que los individuos sean responsables de un conjunto limitado de actividades y no de la actividad como un todo (Ferrer, 2005).

La organización y división del trabajo es uno de los elementos fundamentales del proceso de trabajo que influye en la salud de los trabajadores. Actualmente los modelos administrativos neoliberales se encaminan a la reducción de la fuerza de trabajo, a delimitar funciones y ejercer un estricto control del proceso de trabajo. En un sistema capitalista resultan indispensables estos aspectos, lo que les permite abatir costos e incrementar la productividad mediante la explotación de la fuerza de trabajo.

El capitalismo busca incrementar la productividad a través del desarrollo tecnológico y ejerce un control estrecho del trabajador a fin de que lleve al máximo su capacidad. Esto ha arrancado a los trabajadores el control que tenían sobre el proceso de trabajo, por lo que la organización opera de acuerdo a los intereses de los propios capitalistas. Estos aspectos,

juegan un papel muy importante para la determinación de las características de la actividad física y mental del trabajador (Noriega et al., 1989). Por lo que los cambios que se generan al interior de los centros laborales, influyen de manera negativa en la salud e integridad de los trabajadores. Este tipo de condiciones repercuten no sólo en el trabajador, sino trascienden inclusive a la familia y al entorno social de los trabajadores.

1.2 Riesgos y exigencias en el trabajo.

Como ya se mencionó anteriormente, existen cuatro componentes fundamentales del proceso de trabajo de los cuales se derivan los *riesgos* y *exigencias* laborales, que se manifiestan como elementos potencialmente nocivos para la salud de los trabajadores.

Riesgos. Se denominan *riesgos* a todos aquellos elementos derivados de los objetos y medios de trabajo (medios de producción) y para su estudio se clasifican en cuatro grandes grupos:

- 1) Riesgos derivados de la utilización de los medios de trabajo: ruido, vibraciones, iluminación, temperatura, humedad, ventilación, radiaciones ionizantes y no ionizantes.
- 2) Riesgos derivados de la modificación de los objetos de trabajo: fundamentalmente químicos y biológicos.
- 3) Riesgos derivados de los medios de trabajo en sí mismos: se producen directamente por los medios de trabajo, las instalaciones, la falta de orden y limpieza, así como por la carencia o mal estado del equipo de protección personal.
- 4) Riesgos asociados a las condiciones insalubres o a la falta de higiene: condiciones potencialmente insalubres de los centros laborales relacionadas con las instalaciones sanitarias, los alimentos y el agua para beber.

Exigencias. Son las necesidades específicas que impone el proceso laboral a los trabajadores como consecuencia de las actividades que ellos desarrollan y de las formas de organización y división del trabajo en un centro laboral, se dividen en cinco grupos:

- 1) Exigencias relacionadas con el tiempo de trabajo: rotación de turnos, trabajo nocturno, prolongación de la jornada laboral.
- 2) Exigencias relacionadas con la cantidad e intensidad de trabajo: grado de atención al realizar el trabajo, minuciosidad, repetitividad y ritmo que puede imponer el realizar un trabajo bajo presión, como son las cuotas de producción o el trabajo a destajo.
- 3) Exigencias relacionadas con la vigilancia en el trabajo: supervisión estricta y escrupuloso control de calidad.
- 4) Exigencias relacionadas con la calidad o el contenido del trabajo: posibilidad de comunicación, movilidad, variedad y claridad de las tareas, valoración de la peligrosidad del trabajo.
- 5) Exigencias relacionadas con el tipo de actividad en el puesto de trabajo: las que implican un esfuerzo físico sostenido o bien la adopción de posturas incómodas o forzadas.

Por lo tanto, dependiendo de las características que asuma el conjunto de riesgos y exigencias, así como la escasez o ausencia de los *componentes humanizantes* del trabajo, los cuales se refieren a la relación sujeto-objeto de trabajo, forma, tiempos y libertad de crear o construir su propio plan de trabajo, producirán lo que se llama el *perfil salud-enfermedad* de un colectivo de trabajadores, cabe aclarar, que no todos los riesgos y las exigencias son necesariamente productoras de enfermedad (Noriega, 2005).

Como se puede deducir, en todos los lugares de trabajo se puede hallar un número importante de riesgos; por ejemplo, las condiciones de trabajo inseguras con máquinas carentes de sistemas de protección, pisos en malas condiciones o insuficientes medidas de seguridad contra incendios. Pero también existen otro tipo de riesgos que no son tan evidentes como los anteriores; es decir, aquellos riesgos que no podemos ver, pero que pueden dañar la salud de los trabajadores, tal es el caso de las radiaciones ionizantes utilizadas en algunos procesos de trabajo tanto en la industria como en el sector salud.

Es evidente que tanto los riesgos como las exigencias pueden ser compartidos, este fenómeno es frecuente en ciertas áreas del sector salud donde se utilizan radiaciones ionizantes con fines

de diagnóstico y terapéutico, ya que es común que se comparta la exposición entre los pacientes, el personal de salud, así como el público en general.

Los riesgos están presentes en el lugar de trabajo, por lo tanto, la obligación de las autoridades y de los patrones consiste en cuidar que los sitios de trabajo sean más seguros, para garantizar la integridad del personal con mejores condiciones laborales (OIT, 1999).

También, en la organización y división de trabajo se producen exigencias que pueden perjudicar la salud de los trabajadores, las cuales no siempre son fáciles de controlar, modificar o eliminar, pero que es importante considerarlas por las grandes repercusiones que ocasionan.

Hablar entonces de salud y enfermedad es sumamente complejo, ya que no existen parámetros para determinar el punto en el cual un individuo goza de un completo estado de salud, sobre todo si consideramos que en ambos casos los aspectos subjetivos dificultan precisar la condición biológica y mental del hombre. “Cuando hablamos de la salud de los trabajadores no sólo hacemos referencia a los hechos mórbidos que suceden en los centros laborales sino, principalmente, a las condiciones en las cuales vive y trabaja, y a las causas específicas que generan los problemas de salud” Noriega (2005:13).

Desde el punto de vista colectivo, la salud no es ausencia de enfermedad ni el máximo bienestar físico mental y social; sino una forma de expresar la posibilidad y capacidad que un grupo tiene en la sociedad, de dirigir y controlar sus procesos vitales como son el trabajo y el consumo, es decir para controlar su forma de vivir, e inclusive, como lo señala Noriega (1989), poder decidir de qué quieren morir.

En los centros de trabajo, comúnmente encontramos que el trabajador ejerce un limitado o nulo control en las actividades que desarrolla, ya que éstas no dependen de sus necesidades vitales, sino de los requerimientos de consumo del sistema capitalista en donde la productividad se antepone al bienestar del trabajador. Además debemos considerar que en la mayoría de los casos las condiciones en que el trabajador desempeña sus actividades, no siempre son adecuadas, ya que en todos los sitios laborales existen riesgos y exigencias que tarde o temprano afectan su salud.

Los riesgos como la temperatura, ventilación la humedad, generalmente se abordan de manera conjunta, ya que se encuentran muy relacionados entre sí y con el bienestar térmico de los trabajadores. Cuando el trabajador se expone a altas temperaturas se pueden presentar erupciones y quemaduras, deficiencias en la circulación de la sangre, deshidratación, golpe de calor, tensión nerviosa y fatiga. Los daños causados por el frío pueden manifestarse como malestar general, disminución de la destreza manual, dificultad para mover las articulaciones, trastornos de la conducta, estrés por frío y congelación, además de susceptibilidad a adquirir enfermedades respiratorias. A largo plazo, los trabajadores laboran a bajas temperaturas pueden padecer trastornos circulatorios; además, enfermedades en las articulaciones, huesos y músculos.

Un riesgo clásico es el ruido, el cual puede causar trastornos a varios niveles. El principal daño es aquel que causa disminución de la audición o sordera; otros problemas asociados comúnmente a los sitios de trabajo ruidosos son las afecciones al sistema nervioso, aumento de la frecuencia cardíaca, alteraciones de la respiración, disminución de la atención, problemas digestivos, ansiedad, agresividad, disminución de la destreza, entre otros.

Los riesgos químicos pueden ocasionar efectos agudos como es la irritación y suelen aparecer en minutos u horas; los efectos crónicos pueden ser evidentes después de varios meses e incluso años de haber estado expuesto; ejemplo de sus efectos es la alteración de las células, daños genéticos y cáncer entre otros (Alvear y Villegas, 1989).

Las exigencias laborales no sólo tienen repercusiones físicas, sino también psíquicas, ya que el desarrollo tecnológico y la organización y división del trabajo, generalmente determinan el esfuerzo que se debe realizar. Un control amplio en el proceso de trabajo por parte del capital puede generar mayores restricciones para los trabajadores, como es una mayor intensidad del trabajo debido a diversas causas, entre las que se encuentra el ritmo impuesto por la maquinaria, la parcialización de la tarea, la prolongación de la jornada laboral, el trabajo a destajo y la supervisión estricta entre otras. Algunos especialistas señalan que elevados niveles de demandas psicológicas, aumentan la prevalencia de depresión, fatiga, enfermedad física y ansiedad; entre otras, se señalan también alteraciones psicofisiológicas, enfermedades crónicas como artritis, hipertensión arterial, cardiopatía, úlcera gástrica y bronquitis (Luna y Martínez, 2005).

Es evidente que los riesgos y las exigencias pueden variar, según las condiciones de trabajo, del medio ambiente laboral, y de la organización y división del trabajo. Por ejemplo, los trabajadores de la salud que están en contacto directo con los pacientes, se exponen a una serie de riesgos específicos como son el contagio de enfermedades infecciosas; lesiones musculoesqueléticas; daños por diversas sustancias químicas, como desinfectantes, esterilizantes, reactivos, fármacos y anestésicos. Inclusive, la OIT ha considerado la ética profesional de estos trabajadores como un factor que puede incidir en ciertos riesgos, ya que les obliga, especialmente en situaciones de urgencia, a poner en primer término el bienestar y la seguridad de los pacientes, antes que los propios.

En la Conferencia sobre Riesgos Profesionales organizada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en 1981, se definieron cinco tipos de riesgo especialmente graves:

- Heridas, laceraciones y fracturas.
- Lesiones de la columna vertebral.
- Escasez de equipo de protección individual.
- Deficiente mantenimiento de los equipos mecánicos y eléctricos.
- Agresiones de los pacientes al personal de salud.

El personal de salud, especialmente aquellos que laboran en áreas de riesgo como laboratorios, unidades de terapia intensiva, hemodiálisis, unidades de infectología, quirófanos o gabinetes de radiología y radioterapia, entre otros, pueden considerarse como personal en riesgo cuando no se les proporciona o no utilizan el equipo de protección adecuado, o bien cuando los sitios de trabajo no reúnen las condiciones de seguridad de acuerdo a la normatividad vigente.

La prevención más eficaz contra accidentes y enfermedades se inicia cuando los procedimientos de trabajo se encuentran todavía en la fase de concepción, cuando en el procedimiento de trabajo se pueden implantar condiciones de seguridad. Por lo tanto, la solución consiste en suprimir los riesgos, no en esforzarse en que los trabajadores se adapten a unas condiciones inseguras. Los trabajadores no deben pagar con la vida los errores que cometen las autoridades y los patrones al no incorporar medidas preventivas para evitar enfermedades o accidentes laborales. La conciencia que debe existir en cuanto a la

importancia que tiene la seguridad, ayuda a prevenir accidentes y daños a la salud, pero no suprime los procedimientos ni las condiciones de trabajo inseguros.

2. Breve reseña y aplicación general de las radiaciones ionizantes.

En este capítulo se hace un recorrido a través de la historia de los eventos más relevantes en la investigación de la radiología, desde finales del siglo XIX hasta la época contemporánea. Se menciona el trabajo que han desarrollado diversos investigadores en el área de las radiaciones ionizantes en varias partes del mundo; cabe señalar que algunos de ellos han sido ampliamente reconocidos, aunque no ha sido el caso de otros científicos que los precedieron con el desarrollo de trabajos de investigación no menos importantes, los cuales, en muchos casos crearon los cimientos de los avances de la radiología que conocemos en la actualidad.

Con el paso del tiempo, el estudio de las radiaciones ionizantes ha generado mayores conocimientos que permiten hoy en día contar con un número considerable de aplicaciones de gran utilidad en casi todos los campos, entre las que destacan las del área médica. Es por ello que además de describir su utilidad, se describen algunos adelantos médicos empleados en los gabinetes de radiodiagnóstico y radioterapia.

Además, con la finalidad de familiarizar al lector con la terminología que se emplea en este trabajo de investigación, se mencionan los fundamentos de las unidades radiológicas de medición y la dosimetría.

2.1 Antecedentes de la radiología en el mundo.

A finales del siglo XIX las expectativas del progreso en medicina se enfocaron hacia la microbiología y la bioquímica, dos áreas de reciente aparición hacia las que gran parte de la comunidad científica dirigía su atención. De acuerdo con datos de aquella época, nada hacía prever nuevos avances en el campo de la física aplicada y, mucho menos, en el beneficio que daría a la ciencia médica.

En aquellos años, constituía una gran interrogante lo que pasaba en el interior del cuerpo de pacientes vivos con alguna lesión o enfermedad, así como la localización y tamaño de alguna fractura ósea o la presencia de un cálculo renal; pero pocos meses antes de terminar 1895, nacería lo que ahora conocemos como radiología.

Son muchos los nombres de los científicos que dedicaron su vida al estudio y desarrollo de la investigación de la radiología, entre los que se encuentran Einrich Geissler, que en 1839 inventó una bomba para producir vacío en tubos de vidrio. Wilhem Hittorf, de origen alemán, hizo 4 publicaciones entre 1869 y 1884 respecto a electroquímica y acuñó el nombre de rayos catódicos.

Asimismo, en 1876 Hittorf y Goldstein hallaron el modo de hacer visibles los rayos catódicos. William Crookes, Heinrich Rudolf Hertz, Philipp Lenard, Arthur W. Goodspeed Volta, entre otros muchos, contribuyeron enormemente con su arduo trabajo e investigación, para sentar las bases que dieron vida a la radiología y la energía nuclear (Gaona, 2001).

Casi simultáneamente con la introducción de la cinematografía en Francia por los hermanos Lumiere, se logró el descubrimiento de una radiación extraña que hasta la fecha conocemos como rayos X. El 8 de noviembre de 1895, el físico Wilhem Conrad Röntgen realizaba experimentos con los tubos de Hittorff-Crookes y la bobina de Ruhmkorff; se encontraba analizando los rayos catódicos y para evitar la fluorescencia violeta que producían estos rayos en las paredes de un tubo de vidrio, creó un ambiente de oscuridad al cubrir dichas paredes con una funda de cartón negro.

Era tarde y al conectar su equipo por última vez, Röntgen se sorprendió al ver un débil resplandor amarillo-verdoso: a lo lejos, había un pequeño cartón con una solución de cristales de platino-cianuro de bario, observó que al apagar el tubo se obscurecía y al prenderlo se producía nuevamente el resplandor; retiró más lejos el cartón y comprobó que la fluorescencia se seguía produciendo, repitió el experimento, y observó que los rayos catódicos creaban una radiación muy penetrante, pero invisible. También se dio cuenta que los rayos atravesaban grandes capas de papel e incluso metales menos densos que el plomo.

En las semanas siguientes, estudió con gran rigor las características de estos nuevos rayos, pensó en fotografiar este fenómeno y entonces fue cuando hizo un nuevo descubrimiento: las placas fotográficas que tenía en su caja estaban veladas; intuyó la acción de estos rayos sobre la emulsión fotográfica y se dedicó a comprobarlo, por lo que realizó varios experimentos. Para comprobar la distancia y el alcance de los rayos, pasó al cuarto de al lado, cerró la puerta

y colocó una placa fotográfica, obtuvo la imagen de la moldura, el gozne de la puerta e incluso los trazos de la brocha.

El 22 de diciembre, al no poder manejar al mismo tiempo la placa fotográfica de cristal y colocar su mano sobre ésta; le pidió a su esposa que pusiera la mano sobre la placa durante quince minutos, al revelar la placa de cristal apareció la mano de Berta, la primera imagen radiográfica del cuerpo humano; así nació una de las ramas más poderosas y excitantes de la medicina: la radiología.

Röntgen, descubridor de este tipo de rayos, les puso el nombre de X debido a que no sabía que eran, ni cómo eran provocados, y porque esto significa "desconocido"; este científico fue objeto de múltiples reconocimientos, entre los cuales destaca el premio Nobel de física en 1901 (Cullity, 2008).

Después del anuncio del descubrimiento de los rayos X, Henri Becquerel decidió investigar si las sustancias fosforescentes emitían rayos similares. El trabajaba con un mineral fosforescente de uranio, al que sometía a la luz solar y posteriormente colocaba encima de una película fotográfica protegida de la luminosidad con papel negro, cuando reveló la placa fotográfica encontró en ella la imagen del mineral, por lo que dedujo inicialmente que la fosforescencia del mineral sí producía rayos X.

Días después no pudo repetir el experimento debido al clima lluvioso, entonces encerró el uranio y las placas fotográficas en un cajón durante varios días y cuando pasaron las lluvias, reveló las placas por casualidad, antes de repetir el experimento. Aunque esperaba no encontrar nada en ellas, ya que el uranio no había sido expuesto a la luz solar, su sorpresa fue ver nuevamente la imagen del mineral de uranio en la película.

En 1896, Bequerel observó la radiactividad del uranio, la cual actualmente se utiliza para generar electricidad en centrales nucleares instaladas en muchos países. Bequerel estudiaba sustancias que emiten luz después de exponerlas a la luz solar, a este fenómeno se le conoce como fosforescencia; en 1903, este científico también recibió el Premio Nobel de Física.

En ese mismo año, pero en América, el Dr. W. G. Worton fue el primero en obtener una radiografía dental, utilizando cráneos humanos desecados, un año después, igualmente fue el

primero en efectuar una radiografía de cuerpo entero, para lo cual utilizó una película de 36 pies y 30 minutos de exposición (Rodríguez, 2005).

Gracias a los experimentos de Ernest Rutherford, en 1900 se conocieron tres tipos de emisiones radiactivas: radiaciones alfa, beta y gamma. La radiación alfa consiste en iones del elemento helio (${}^2\text{He}$), que se mueven a gran velocidad.

En cuanto a la radiación beta, consiste en electrones emitidos del núcleo a grandes velocidades, a menudo cercanas a las de la luz; debido a su alta velocidad, éstos tienen mayor energía cinética que los electrones de los rayos catódicos.

Por su parte, la radiación gamma es una forma de radiación electromagnética similar a los rayos X, pero con mayor energía. Toda la radiación electromagnética, incluyendo la radiación gamma, viaja a través del espacio vacío a la velocidad de la luz, no tiene masa y no tiene carga eléctrica.

Los tres tipos de radiación se pueden distinguir por su capacidad de penetrar en la materia: a) las partículas alfa tienen una penetración limitada, pues se pueden detener con un pedazo de papel o con la ropa; b) la radiación beta, puede detenerse sólo con placas metálicas delgadas; y c) la radiación gamma penetra mucho más, ya que se necesitan varios centímetros de plomo o una placa gruesa de concreto para detenerla completamente.

Con ayuda de Johannes Hans Wilhelm Geiger, que había inventado un aparato para determinar la actividad de estos materiales, llamado contador Geiger, Rutherford concluyó en 1900 que el fenómeno de radiactividad ocurría mediante un decrecimiento exponencial de la actividad radiactiva.

Después de muchos experimentos Marie Curie, alumna de Becquerel, dedujo que la radiación provenía del uranio mismo y que no tenía nada que ver con la fosforescencia. Curie concluyó que la radiación emitida por el uranio era un nuevo fenómeno, al que se conoció posteriormente como radiactividad (Garritz, 2006).

Pierre y Marie Curie analizaron el material de uranio en busca de otras fuentes de radiación y encontraron dos de ellas bajo la forma de un par de elementos hasta entonces desconocidos

llamados radio y polonio, además del radón. Esta pareja de científicos recibió el Premio Nobel de Física en 1903, junto a Becquerel (Grimaldi et al., 2006).

Además, Marie recibió en 1911 el Premio Nobel de Química por su concienzudo y minucioso trabajo de separación en minerales con el descubrimiento de nuevos elementos radiactivos. De igual manera, George Von Heves contribuyó al inicio de la medicina nuclear en 1913, al emplear marcadores con radioisótopos naturales (Cuenca, 1997).

Hacia finales de 1912 y principios de 1913, los británicos William Henry Bragg y su hijo William Lawrence Bragg, simplificaron la interpretación teórica de von Laue y determinaron una teoría en la que establecieron que las direcciones privilegiadas en las que se producen haces difractados en un cristal pueden conocerse aplicando la llamada “Ley de Bragg”. Esta ley dice cómo saber en cuáles direcciones un cristal difractará rayos X según la profundidad a la que se encuentran en el cristal los nodos de la red imaginaria dentro de él. Por esta interpretación de la difracción de rayos X por un cristal, como si fuera sólo una reflexión en direcciones selectas, los Bragg merecieron el premio Nobel de Física en 1915.

En otoño de 1938, Otto Hahn y Fritz Strassman produjeron por primera vez la fisión del núcleo de uranio, observaron que los núcleos se parten en dos y que esta fisión libera una gran cantidad de energía, seguida por un aumento en el número de los neutrones liberados capaces de producir nuevas fisiones, con lo que se podría obtener energía del átomo (Grimaldi et al., 2006).

Con la Primera y Segunda Guerra Mundial se dio amplia utilización a las radiaciones y se avanzó en el desarrollo de equipos, materiales opacos de contraste, fuentes de alta energía para la radioterapia, aplicadores de radio para el tratamiento del cáncer y en la mejora de las técnicas clínicas. En el año 1922, Antoine Lacassagne descubrió el principio de la autorradiografía; con estos precursores se cimentaron las bases de la medicina nuclear, que experimentó un rápido desarrollo entre 1935 y 1939 y, sobre todo, a partir de 1945.

Las aportaciones que Irene y Frédéric Joliot-Curie realizaron alrededor de 1934, dieron impulso a las aplicaciones médicas, porque a partir de ellas se aprendió a fabricar isótopos radiactivos de la mayor parte de los elementos naturales.

A partir de 1948 se inició la inyección (marcado) en el hombre de radioisótopos artificiales, por ejemplo, al observar la fijación del yodo radiactivo en la glándula tiroides, se puede medir su radiactividad y así evaluar la actividad funcional (Cuenca, 1997).

Durante la Segunda Guerra Mundial, los avances de la física en el campo de las radiaciones se aplicaron principalmente al desarrollo de las armas nucleares, lo que dio paso a una carrera entre las potencias mundiales por crear y fabricar este tipo de armamento. En la década de 1950 los Estados Unidos se dieron cuenta de las posibles aplicaciones de las nuevas tecnologías a la agricultura, la industria y la medicina, por la cual iniciaron su aplicación intensiva.

Durante esa misma década apareció en algunos países europeos, como el Reino Unido y Suecia, una nueva disciplina: la física médica. Los físicos médicos son científicos que aplican sus conocimientos de la física a la medicina, como lo hicieron en su momento Röntgen, Becquerel y los Curie, especialmente en el campo de la radiología diagnóstica y terapéutica (Roses, 2006).

En diciembre de 2003 se cumplió el 50 aniversario del discurso "Átomos para la Paz", que el entonces Presidente de Estados Unidos, Dwight D. Eisenhower, pronunció ante la Asamblea General de las Naciones Unidas. Este discurso proponía un acuerdo entre las grandes potencias para detener la fabricación de armamentos y abrir una posibilidad de conocimientos y medios materiales, especialmente los combustibles nucleares, uranio natural y uranio enriquecido, para su utilización con fines pacíficos. Para ello se propuso la creación en las Naciones Unidas, de una agencia encargada de hacer llegar los conocimientos y la tecnología a todos los países y de administrar los materiales sensibles con la finalidad de suministrarlos a los países que emprendieran programas nucleares para fines pacíficos. Este fue el origen del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), creado en 1957, en el que participan casi todos los países del mundo (Foro de la Industria Nuclear Española, 2004).

Desde 1970, con la aparición de las cámaras de centelleo se pudo lograr una mejor exploración de numerosos tejidos y órganos. Luego surgieron los detectores de positrones y el diagnóstico funcional por imagen, que hacen de la medicina nuclear una de las ramas más actualizadas de la imagenología.

En 1979 Sir Godfrey Hounsfield, recientemente fallecido en 2004, revolucionó la medicina con la tomografía computada o escáner. Su invento es considerado por muchos como uno de los más importantes del siglo XX y lo hizo merecedor del premio Nobel en 1979. Hounsfield recibió el premio por la invención de dicha técnica, la cual permite estudiar cortes axiales del cuerpo en los que se combinan miles de elementos de información para producir una imagen clara que revela nuevos datos a radiólogos y médicos (Bosch, 2004).

En cuanto a los antecedentes de la radiología en México, es importante enfatizar que nuestro país es considerado el primero en América Latina que usó los rayos X para aplicación médica, ya que el 28 de octubre de 1896 el Doctor Tobías Núñez obtuvo la primera imagen con fines de diagnóstico en el Hospital Juárez de México, la cual se tomó a una paciente con traumatismo de codo derecho (Gaona, 2001).

El primer aparato de rayos X lo trajeron de Alemania casi inmediatamente después de su presentación en Europa y fue llevado a San Luis Potosí en 1896 por el Ingeniero Luis Espinoza y Cuevas; con este aparato se obtuvieron las primeras imágenes con rayos X, aunque no precisamente fueron con fines terapéuticos.

Otro antecedente importante es el empleo de esta clase de tecnología en el Hospital General de México, cuando el presidente Álvaro Obregón donó un aparato de rayos X y se adquirió el radio para el tratamiento del cáncer. Asimismo, se considera que se inició la renovación en la enseñanza de la medicina alrededor del año de 1922 (Cedillo, 1999).

Por otra parte, al médico Julián Villarreal, originario de Saltillo, Coahuila, se le ha considerado como el iniciador en México de la cirugía aséptica y de la cirugía ginecológica, introdujo el radio, con el cual se iniciaron los tratamientos de radioterapia (Sanfilippo, 2008). Otra aplicación de este tipo de radiación ha sido la radio cristalografía, que es la ciencia que estudia los cristales usando rayos X y fue traída a México en el año de 1950 por Carlos Graeff Fernández, Octavio Cano Corona y Francisco José Fabregat Guinchard, quienes tuvieron la oportunidad de conocer a discípulos de William Lorentz Bragg, quien fue el precursor de esta práctica.

De 1947 a 1948, el rector de la Universidad Nacional Autónoma de México, Salvador Zubirán, llevó a cabo una campaña tendiente a reunir diez millones de pesos para impulsar la investigación. Con una parte de los fondos recabados, el doctor Graef adquirió, en 1949, un equipo para difracción de rayos X por cristales, que consistía en un generador y cámaras tipo universal, de retro reflexión y para polvos. Cano Corona instaló este equipo en un laboratorio construido para tal fin en una parte de la azotea del Palacio de Minería, en el Centro Histórico de la ciudad de México y se le reconoce como el segundo laboratorio de física moderna que hubo en el país, antecesor del actual Laboratorio de Cristalografía del Instituto de Física de la UNAM (Cordeo, 2000).

Alejandro Celis Salazar, estaba convencido de que la enseñanza y la investigación propiciaban una mejor medicina. Él pensaba que los médicos de la Unidad de Neumología del Hospital General, siempre deberían participar de la enseñanza y tener algún proyecto de investigación. Celis publicó 65 trabajos científicos, sus publicaciones sobre radiología experimental siempre fueron en el Acta Radiológica Escandinava. En 1946 obtuvo un método personal para la Angiocardiografía, trabajo que a varios años de haber sido publicado, fue elegido por el libro editado en Europa para conmemorar los cien años del descubrimiento de Roentgen, como una de las contribuciones mundiales en la investigación radiológica (Rivero, 2008).

A finales de 1950, el médico Rodolfo Díaz Perches organizó el servicio de radioterapia y crea el Departamento de Física en la Unidad de Oncología del Hospital General de México; así mismo, junto con los médicos Rafael Martínez González y Guillermo Montaña se crea la residencia en radioterapia y oncología. Montaña fue fundador de la Sociedad Mexicana de Seguridad Radiológica, Sociedad Mexicana de Radioterapeutas, pionero del Programa de Seguridad Radiológica en la Comisión Nacional de Energía Nuclear en 1958 y Director General del Hospital General de México (Gaona, 1999).

En 1956 se llevó a cabo el VIII Congreso Internacional de Radiología en la ciudad de México; en donde se mantuvo en exhibición la primera unidad de cobalto 60 en México, la cual se instaló posteriormente en el Instituto Nacional de Cancerología.

Por otra parte, el origen de los Laboratorios Secundarios de Calibración Dosimétrica (LSCD), se inicia en el año de 1960, cuando los físicos- médicos del OIEA, M. Cohen y K.C. Tsien,

formularon un programa de asistencia a los departamentos de radioterapia en América Latina. Estos laboratorios, fueron creados para proveer la trazabilidad en las magnitudes y unidades empleadas en campos de radiaciones ionizantes para los equipos utilizados en centros de radioterapia, protección radiológica y radiología diagnóstica.

El primer Centro Regional de Calibración Dosimétrica se estableció en el año de 1974 en el Departamento de Radioterapia del Hospital General de México de la Secretaría de Salubridad y Asistencia de México y funcionó hasta 1985, cuando un sismo destruyó gran parte de la infraestructura. En 1986, el Centro Regional de Calibración Dosimétrica, por acuerdo de la Secretaria de Salud y el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), pasó al Departamento de Metrología de Radiaciones Ionizantes del ININ (Tovar et al., 2006).

2.2 La diversidad en el empleo de las radiaciones ionizantes.

En primer lugar, recordemos que todos los seres vivos estamos expuestos a una irradiación constante de origen geológico y cósmico; por lo tanto, los organismos absorben distintos tipos de radiación ionizante (alfa, beta y gamma), cuyas consecuencias dependen de la intensidad y duración de la irradiación. Esto da origen a intervenciones terapéuticas muy variadas, como son el diagnóstico por medio de trazadores y el uso de las radiaciones para fines terapéuticos. Por ejemplo, en diagnóstico lo importante es limitar la dosis de radiación; en cambio, en las intervenciones terapéuticas lo importante es maximizarla selectivamente para los tejidos dañados.

Y en segundo, los radioisótopos son elementos radiactivos artificiales generados en reactores nucleares y en aceleradores de partículas. Además, existen los isótopos radiactivos naturales que derivan principalmente del uranio y del torio (INVAP, 2009). Dentro del campo de la industria, las aplicaciones de estos elementos son variadas y numerosas, y debido a las ventajas que presentan en muchos procesos industriales, se han convertido en una importante herramienta de trabajo (Baró et al., 2000).

Al respecto, uno de los elementos más utilizados es el uranio radiactivo, el cual fue descubierto en 1789. Es el elemento más pesado, de origen natural, que existe tanto en la tierra como en los océanos. Su nivel de actividad radiactiva es bajo, muy inferior al de otros

elementos, lo que facilita su transformación y fabricación como combustible nuclear (Sánchez, 2005). Este elemento permite generar electricidad en centrales nucleares instaladas en diversos países (Foro de la Industria Nuclear Española, 2008).

El Iridio es un elemento químico que fue descubierto en 1803 por el científico inglés Smithson Tennant, se emplea en aleaciones de alta resistencia que pueden soportar altas temperaturas; es muy duro, pesado y resistente a la corrosión; sirve además para endurecer otros metales como el platino y el oro. Es también un emisor gamma con buena disponibilidad comercial que se adquiere en forma de placas, hilos o alambre de platino iridiado, los cuales se colocan en tubos de nylon de 0.85 mm de diámetro externo cuyos extremos se sellan con calor; éstos pueden cortarse a la longitud deseada y por su maleabilidad pueden doblarse y se pueden adaptar por ejemplo a cierta región anatómica que se desea tratar, en caso que se emplee con fines médicos (Valverde et al., 2005).

En medicina, los rayos X permiten obtener radiografías para el diagnóstico de lesiones y enfermedades internas; los médicos especializados en medicina nuclear utilizan material radiactivo como trazadores para formar imágenes detalladas de estructuras internas y estudiar el metabolismo. En la actualidad se dispone de radiofármacos terapéuticos para tratar trastornos como el hipertiroidismo, los médicos utilizan en radioterapia radiación para tratar el cáncer.

Otros empleos que mejoran el uso de la energía nuclear son la producción de hidrógeno, la desalinización del agua del mar y la producción de calor para su utilización en la industria o en el sector doméstico. Se considera que el consumo de energía en el sector del transporte constituye la principal fuente de emisiones de gases de efecto invernadero y continuará aumentando en los próximos decenios. Para evitar este grave riesgo que afectará aún más el equilibrio ambiental de nuestro planeta, se considera que el hidrógeno, producido en reactores nucleares, sería el producto más adecuado para reemplazar a los combustibles fósiles (Foro de la Industria Nuclear Española, 2008).

Los isótopos y las radiaciones desempeñan un papel importante en la agricultura moderna. Ya en 1964 la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés), junto con el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA),

establecieron una Comisión Mixta para el Empleo de Isótopos y Radiaciones en el Desarrollo de la Agricultura y la Alimentación. Entre los avances que se han conseguido están: prolongación de la vida útil de alimentos (radurización), eliminación de microorganismos en alimentos (radicidación) y la extensión de la vida útil de pescados y mariscos (CONCYTEC, 2005).

En el campo de la ingeniería se emplea material radiactivo en las operaciones de registro de pozos petrolíferos y para medir la densidad de la humedad en los suelos. Los radiólogos industriales se valen de rayos X en el control de calidad para observar las estructuras internas de aparatos fabricados. Las señales de las salidas de edificios y aviones contienen tritio radiactivo para que brillen en la oscuridad en caso de fallo de la energía eléctrica. Muchos detectores de humos en viviendas y edificios comerciales contienen americio radiactivo (Cuenca, 1997).

Asimismo, el Consejo de Seguridad Nuclear, en España, ha establecido diversas aplicaciones de las radiaciones ionizantes en el campo de la industria; entre algunas de las aplicaciones más significativas de éste tipo de radiación se observa la fabricación de láminas metálicas (radiación gamma) por su alto poder de penetración. También para controlar procesos de llenado de depósitos o envases que contengan líquidos, especialmente cuando estos son corrosivos o se encuentran a elevadas temperaturas y en todos aquellos casos en los que sea imposible aplicar dispositivos de contacto.

Igualmente la medición de la humedad en materiales a granel como la arena y el cemento; el empleo de gammagrafía para verificar las uniones de las soldaduras; todos los detectores de seguridad de aeropuertos, correos o edificios oficiales utilizan los rayos X para escanear bultos o personas; los detectores de humo, la esterilización de materiales, la eliminación de la electricidad estática, son otros de los ejemplos donde se emplean radiaciones en la industria; además de ser muy útiles en la industria textil, de plásticos, papel, vidrio, entre otros usos.

De manera semejante, en investigación son innumerables las aplicaciones en donde se emplean las radiaciones ionizantes, por ejemplo, mediante el análisis del carbono-14 radiactivo podemos determinar con precisión la edad de diversos materiales. Esto, además de ser útil en la industria, es muy útil para la investigación histórica, el estudio del clima o la

restauración pictórica y escultórica. Algunos de los usos se dirigen a abordar estudios de biología celular y molecular de cáncer, ensayos “in vitro”; realización de estudios funcionales, entre muchos otros.

En cuanto a su empleo en la agricultura y la alimentación se utilizan también para el desarrollo de cepas de cultivos y plantas alimenticias con mayor productividad y resistencia a la lluvia, las heladas o las plagas, que las especies originales; el control de insectos nocivos, como la mosca tse-tsé, en Zanzíbar, Tanzania; la mosca de la fruta mediterránea, en México, y la larva de moscarda en el sur de Estados Unidos y el norte de África.

También son útiles en la esterilización de material quirúrgico, así como de semillas o productos alimenticios para prolongar su durabilidad; en la determinación de absorción de abono por las plantas para evitar el uso de fertilizantes químicos; auxilia de manera eficaz a optimizar los recursos hídricos mediante el uso de sondas de neutrones para determinar la humedad de un terreno estableciendo así la cantidad de agua que le falta o le sobra para obtener una cosecha óptima ahorrando con ello mucha agua y el control de plagas en determinadas áreas geográficas, entre otros importantes usos de las radiaciones ionizantes (OIT, 2000).

Como podemos observar, son numerosos los empleos que se dan a las radiaciones ionizantes y a los materiales radiactivos; también es indudable que al hacer un uso racional y adecuado de ellos se puede mejorar la calidad de vida y se ayuda a la sociedad de muchas formas, pero siempre se deben sopesar los beneficios de cada uso con los riesgos que se derivan de ellos.

2.3 Unidades radiológicas y dosimetría.

En los diferentes campos del conocimiento se emplean lenguajes técnicos propios y los profesionales de la radiología no son la excepción, ya que en el ejercicio de varias de las disciplinas, generalmente utilizan unidades específicas para medir la radiación.

La realización de mediciones constituye una necesidad en la aplicación de la ciencia y ha sido un factor importante en la evolución de la humanidad. El desarrollo científico y tecnológico, además de aumentar la cantidad de magnitudes a medir, requiere cada vez de mayor exactitud y precisión en la cuantificación.

El Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) refiere que en el período de 1953 a 1962, la Comisión Internacional de Unidades y Medidas de Radiación, desarrolló y presentó sus definiciones para las cantidades de actividad, exposición, dosis absorbida y equivalente de dosis, así como las correspondientes unidades de medida especiales: el Roentgen, el rad, el rem y el Curie.

Roentgen o culombio/kilogramo (C/kg). Tradicionalmente denominado roentgen (R), es la unidad de intensidad de radiación en el aire. La salida de los equipos de rayos X se indica en miliroentgens (mR).

Rad o gray (Gy). El Rad se refiere a radiation absorbed dose o dosis absorbida de radiación. Esta unidad describe la cantidad de radiación recibida por un paciente; la relación entre las unidades rad y gray se expresa: $1 \times 10^{-2} \text{Gy} = 1 \text{ rad}$.

Rem o sievert (Sv). Esta unidad de medida es la abreviatura de radiation equivalent man o radiación equivalente por persona, esta unidad se utiliza para expresar la cantidad de radiación recibida por los trabajadores en entornos sensibles, grupo profesional en el cual se incluyen modernamente, tanto los empleados de centros de radiología como personal que labora en centrales nucleares. Existen algunos tipos de radiación que producen lesiones más graves que los rayos X; *el factor de eficacia biológica* se calcula en sieverts o rems y considera distintos niveles de perjuicio biológico.

Curie o becquerel (Bq). Es la unidad de medida que expresa la cantidad de material radiactivo, sin relación alguna con la radiación emitida. En síntesis, podemos decir que existen cuatro unidades utilizadas tradicionalmente a escala internacional para medir la radiación ionizante:

- Para la exposición en el aire, la unidad empleada es el roentgen o culombio por kilogramo.
- La dosis absorbida se expresa en rads o grays.
- La dosis equivalente se indica en rems o sieverts.
- Para la radiactividad se emplean el curie o el becquerel.

En cuanto a las *magnitudes especiales*, estas se usan en áreas específicas de la ciencia. En radiología, dichas magnitudes son: exposición, dosis, dosis equivalente y radiactividad (Stewart, 2003).

Por lo que concierne a la dosimetría, cabe señalar que, en enero de 1994, la Nuclear Regulatory Commission (NRC) modificó algunas de las normas sobre la dosis máxima permisible. En la actualidad, la denominación correcta de dosis máxima permisible es *recomendaciones para limitar la dosis*.

El límite de dosis anual en México se refiere a la recomendación para limitar la dosis para operadores con exposición laboral. Para el personal ocupacionalmente expuesto, el límite del equivalente de dosis efectivo anual $H(E,L)$ para los efectos estocásticos es de 50 mSv (5 rem).

Para el personal ocupacionalmente expuesto el límite de equivalente de dosis anual para los efectos no estocásticos es de 500 mSv (50 rem), independientemente de si los tejidos son irradiados en forma aislada o conjuntamente con otros órganos. Este límite no se aplica al cristalino, para el cual se establece un límite de 150 mSv (15 rem).

Las mujeres ocupacionalmente expuestas que se encuentren embarazadas sólo podrán trabajar en condiciones donde la irradiación se distribuya lo más uniformemente posible en el tiempo y que la probabilidad de que reciban un equivalente de dosis anual mayor a 15 mSv (1.5 rem) sea muy baja (Reglamento General de Seguridad Radiológica, 1998).

Por lo que respecta a la dosis efectiva, abreviada como DE o sólo con la letra E, pondera la dosis administrada a todos los órganos y el riesgo relativo de que estos órganos desarrollen cáncer (Bontragner et al., 2004).

El conocimiento de las unidades radiológicas así como los límites de dosis y los riesgos que se derivan del empleo de las radiaciones, corresponde no sólo a quien las aplica, sino directamente a los directivos y los responsables de la protección radiológica. El nivel óptimo de protección debe ser suficiente para garantizar el cumplimiento de los límites de dosis prescritos en el Reglamento General de Seguridad Radiológica.

3. Aplicación de la radioterapia y experiencias de evaluación.

Las radiaciones ionizantes sin duda han contribuido en el área médica, a realizar no sólo mejores diagnósticos sino a establecer terapias contra enfermedades mortales como es el cáncer, para lo cual se requiere de la práctica de métodos de diagnóstico y aplicación de técnicas especializadas de tratamiento.

En este capítulo se abordan aspectos generales de algunas de las técnicas más empleadas en los servicios de radioterapia. Se describen también los principales efectos y daños a la salud ocasionados por radiaciones ionizantes y las experiencias en el estudio y en la evaluación que algunos investigadores han llevado a cabo en ésta área del conocimiento en diversas partes del mundo.

3.1 Los servicios de radioterapia.

De la radioterapia, podemos decir que es un procedimiento dirigido principalmente al tratamiento del cáncer y que ha observado adelantos notables en los equipos que emplea, así como en la precisión, calidad e indicación para su aplicación. Las radiaciones usadas en estas prácticas son parecidas a las utilizadas para las radiografías y los exámenes de medicina nuclear, difieren solamente en que su energía es mucho mayor, ya que se dirigen a eliminar las células tumorales en la parte del organismo afectada.

La radioterapia está dirigida a la eliminación radical del tejido anormal o al control de su crecimiento. Actualmente, la tecnología permite diagnosticar un tumor en sus etapas iniciales; de tal manera que se puede ofrecer al paciente un tratamiento oportuno que puede traducirse en mayores expectativas de vida. El objetivo de la radioterapia se dirige a la aplicación de una dosis controlada de radiación ionizante muy intensa a un determinado volumen de acuerdo a las características del tumor, con el fin de destruir o detener el crecimiento de células cancerígenas sin causar daños graves al tejido sano que lo rodea (Rodríguez et al., 2010).

Por lo que toca a la tomografía axial computarizada (TAC) es tal vez la técnica más sofisticada en la aplicación de los rayos X en medicina, permite un manejo tridimensional de las imágenes detalladas del cuerpo del paciente con la ayuda de un sistema informático y da lugar a lo que se conoce como simulación virtual. Con el uso de la TAC, el médico delinea los volúmenes de

interés, prescribe la dosis y el cálculo de distribución de dosis en radioterapia, para lo cual cuenta con el apoyo de física médica.

Cabe señalar que para efectos de este estudio, sólo se enfocó la descripción del empleo del TAC en la simulación del tratamiento; que en radioterapia permite ubicar la región a tratar y permite establecer el tamaño de los campos de tratamiento y el ángulo de incidencia, lo cual queda registrado en las placas radiográficas "simuladoras". Posteriormente sobre estas placas, se marcarán las zonas a proteger mediante bloques que atenúan la radiación. Luego de la simulación, se puede realizar una tomografía computada de simulación en la zona a tratar.



Area de simulación tomográfica en un servicio de radioterapia.

Como se ha señalado, la radioterapia es el uso de las radiaciones ionizantes con fines terapéuticos y la oncología radioterápica es la especialidad médica dedicada al estudio del tratamiento del cáncer y, ocasionalmente, de algunos procesos benignos (Zomeño, 2002). El médico radio oncólogo considera varios aspectos para decidir qué tipo de tratamiento se le dará al paciente, entre ellos: el tipo de tumor, su localización, las posibilidades de curación, el estado general del paciente y las expectativas de vida. De esta forma, puede decidir si se maneja con radioterapia externa (equipos de cobaltoterapia, rayos X de alta energía, aceleradores lineales de fotones y electrones); o con braquiterapia que se efectúa con fuentes radiactivas colocadas en los tejidos o cavidades en contacto con la lesión durante cierto tiempo.

Actualmente son diversos los tipos de procedimientos técnicos de radioterapia a los que se puede someter un paciente con cáncer, entre los más antiguos y comunes se encuentra la

cobaltoterapia. Es oportuno señalar que los equipos utilizados en cobaltoterapia, aprovechan los rayos gamma de alta energía producidos por algunos isótopos artificiales, como el Co60.



Unidad de Cobalto de un hospital de la Cd. De México

La fuente de Co60 se obtiene, mediante el bombardeo de ^{59}Co con un flujo de neutrones, en un reactor nuclear. Entre sus principales características se pueden señalar las siguientes: tiene un largo período de semidesintegración (5.27 años), después de varias vidas medias, es necesario cambiar la fuente. Una unidad de cobaltoterapia consta de los siguientes elementos: fuente, cabezal, brazo, mesa de tratamiento y panel de control.

La *fente* tiene forma cilíndrica y una longitud de 2 a 3 cm, su masa oscila alrededor de los 50 gr. Es un contenedor de acero inoxidable con doble pared, sellada por medio de soldadura. En el interior de este cilindro se encuentra el Co60 que se ha obtenido en el reactor nuclear, y está en forma de granos o cilindros de 1 a 2 mm. La doble soldadura de la fuente es fundamental para evitar fugas, lo cual de acuerdo con los especialistas, es muy difícil de lograr hoy en día (Fortes, 2003).

Por lo que respecta al *cabezal*, aquí se aloja a la fuente radiactiva, la que puede encontrarse en dos posiciones posibles: Off, que es cuando la fuente se encuentra en el interior del blindaje; y On, es la posición de irradiación cuando la fuente se expone para aplicar la terapia a los pacientes. Con este sistema se consigue que cuando no se está aplicando el tratamiento, la fuente permanezca oculta dentro del blindaje, de forma que el POE que tenga que acceder al bunker donde se encuentra la máquina de cobaltoterapia así como el propio paciente, no reciba dosis de irradiación.

El *brazo o Gantry* es el que determina la dirección del haz de radiación. Por un extremo se encuentra sujeto a un soporte fijo y en el otro extremo se encuentra el cabezal con la fuente, el

sistema de colimación y el porta-accesorios. El colimador permite establecer el tamaño del campo de tratamiento. Lo característico del brazo es su rotación isocéntrica, es decir, el brazo gira alrededor de un eje horizontal y su intersección con el eje del haz da lugar a un punto llamado isocentro. Este aparato cuenta también con un sistema de porta-accesorios que se encuentra en la parte inferior del cabezal, en donde se introducen modificadores del haz: cuñas y protecciones.

La *mesa de tratamiento* es donde se coloca al paciente para recibir la terapia. Debe tener ciertas características técnicas para lograr que la persona que va a recibir el tratamiento adopte la posición adecuada para que el campo de radiación sea el mismo en cada sesión.

El *panel o consola de control* generalmente se encuentra fuera del bunker de tratamiento y desde ahí se seleccionan ciertos parámetros como son: energía, tiempo de exposición, movimientos, entre otros. Permite, además, interrumpir la radioterapia en caso de que se presente una situación de emergencia. Junto al panel se encuentra un sistema cerrado de televisión y de interfono para tener vigilado al paciente en todo momento y poder comunicarse con él cuando es necesario.

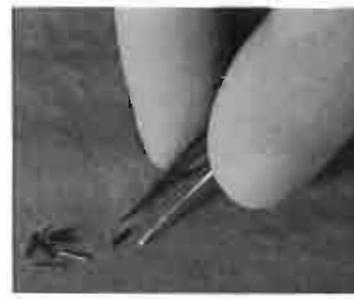
En cuanto a la **braquiterapia** es un tipo de radioterapia que utiliza fuentes selladas de material radiactivo, isótopos radiactivos como el ^{226}Ra , ^{131}I , ^{32}P que liberan radiación y se colocan cerca del tumor o se introducen sin necesidad de pasar a través de otras estructuras sanas. La ventaja más importante de esta forma de tratamiento es la de concentrar la máxima dosis de radiación en la zona que se quiere irradiar; por lo tanto, es mínima la irradiación a tejido sano (Carvajal, 2003). Este aspecto coincide con las ventajas biológicas de la braquiterapia que se caracterizan por una tasa de dosis (TD) diferente a la radioterapia externa, lo que permite aportar ventajas dosimétricas (Sendra, 2002).

De acuerdo con investigadores del Instituto Balseiro (2005), la braquiterapia puede ser manual o remota. La braquiterapia manual comprende tres técnicas, una de las cuales es la *terapia intersticial*, en donde la fuente se introduce dentro de los tejidos; otra es la *terapia intracavitaria* que se caracteriza porque las fuentes se ubican en orificios o cavidades naturales del cuerpo y la tercera es la *terapia superficial* en donde generalmente se emplean aplicadores dérmicos u oftálmicos.

La braquiterapia remota se lleva a cabo mediante equipos de carga diferida para tratamientos intracavitarios o intersticiales de alta y baja tasa de dosis. Este tipo de tratamiento se realiza con equipos de carga diferida de fuentes que esencialmente consisten en un contenedor blindado para el almacenamiento de las fuentes, un mecanismo de transporte de las fuentes, una guía flexible y un aplicador, mediante los cuales se transfieren las fuentes selladas desde su contenedor blindado a aplicadores previamente posicionados en el paciente, además de una unidad o sistema de control separada de la unidad de tratamiento. Estos equipos se ubican en habitaciones con blindajes estructurales y dispositivos de seguridad.



Microelectrónica utilizada en braquiterapia alta tasa de dosis.



Semillas radiactivas. Imagen tomada de academic.com

Una de las formas de aplicación de la braquiterapia es la implantación temporal o permanente de los radioisótopos, estos implantes están compuestos por semillas radiactivas que se introducen en el tumor. El material implantado de forma permanente se mantiene indefinidamente en el organismo del paciente; sin embargo, es una radiación de muy baja actividad y energía que se libera en su totalidad al cabo de unas semanas, por lo que no entraña ningún riesgo para el enfermo, familiares o personal médico. En el caso del paladio 103 , que es utilizado en los tumores de próstata, a los dos meses de su instalación libera el 90 % de la irradiación.

Existen también diferentes tipos de tratamiento, según la localización del tumor, que pueden ser: *superficial*, para tratar tumores cutáneos u oculares; *endocavitario*, principalmente empleado en tumores localizados en vagina y cuello de útero; *intersticial*, cuando el tumor no se localiza en las cavidades naturales, por ejemplo en mama, cuello, o próstata; e *intraluminal*,

en donde la radiación se aplica por dentro de la luz de alguno de los conductos orgánicos o vascular.

En la *braquiterapia de baja tasa de dosis*, las medidas de protección radiológica no permiten en algunos casos, que el paciente salga del hospital durante su tratamiento (De la Huerta et al., 2005). En cuanto al término *braquiterapia de alta tasa de dosis*, se refiere a una modalidad de braquiterapia que es realizada con la ayuda de un micro-selectrón HDR, el cual contiene una microfuelle radiactiva manejada por control remoto computarizado; de este modo, la radiación llega al paciente por catéteres que se conectan al micro-selectrón.

Un **acelerador lineal** de electrones para uso médico es un equipo destinado al tratamiento de tumores superficiales, o bien, si se les hace impactar sobre un blanco apropiado, pueden producir fotones de alta energía destinados al tratamiento de tumores profundos (Larcher et al., 2001). Este tipo de sistema de tratamiento permite aplicar tratamientos muy adaptados y precisos, como radiocirugía, radioterapia estereotáctica o radioterapia con intensidad modulada.



Acelerador lineal Varian
Fundación Escuela de Medicina Nuclear (FUESMEN).Argentina.

Es importante enfatizar que cuando el paciente llega a un servicio de radioterapia, tiene que pasar diferentes etapas para iniciar la aplicación de un tratamiento específico. En todas las fases de tratamiento con radioterapia participa un equipo de profesionales con experiencia, integrado por oncólogos radioterapeutas, radiólogos, físicos médicos, enfermeras, técnicos radioterapeutas, ingenieros, personal administrativo e, inclusive, otro tipo de personal de apoyo como son los camilleros.

A continuación se hace referencia al seguimiento que se da a un paciente que por su diagnóstico, requiere ser canalizado de la consulta general a una consulta médica especializada. La descripción del proceso de trabajo se inicia en la consulta médica oncológica, ya que la mayoría de las personas que se atienden en este servicio son pacientes a quienes se les ha diagnosticado algún tipo de cáncer. Cabe recordar, como está señalado en párrafos anteriores, que también la radioterapia es empleada en casos benignos, por ejemplo, después de la resección quirúrgica para tratar cicatrices queloides, ya que con este tipo de terapia se puede prevenir su recurrencia en aproximadamente el 75% de los casos (Maldonado et al., 2002).

De esta manera, cuando el paciente acude a la especialidad de oncología, se establece un contacto inicial del enfermo con el oncólogo radioterapeuta; en esta visita, el médico realiza una historia clínica en la que incorpora el resultado de las exploraciones que le haya practicado al paciente. Para completar el estudio, se pueden ordenar exámenes de laboratorio y radiológicos; además se dan las instrucciones al paciente respecto al plan de tratamiento y las indicaciones respectivas.

Posteriormente, el médico oncólogo radioterapeuta, el personal de física médica y el personal técnico, llevan a cabo la planificación del tratamiento, incluyendo la simulación virtual. Para ello, es preciso realizar al paciente una tomografía en una posición determinada que será la misma durante el tratamiento, lo que permite una adecuada irradiación de la zona blanco, y minimiza la dosis que pudiera recibir alguna otra parte del cuerpo innecesariamente, con lo que se evitan complicaciones agudas y tardías. Se le realiza el tatuaje en la piel de un punto central, que será el origen de todos los desplazamientos en los tres ejes del espacio.

El tratamiento consiste en varias sesiones, generalmente de corta duración. Durante el tratamiento, el paciente es monitorizado por medio de una cámara de vídeo y micrófonos, para atender cualquier contingencia o necesidad que pudiera surgir durante la realización del procedimiento, por ejemplo que el paciente se encuentre muy inquieto, cambie de postura o se presente algún incidente con el retroceso de la fuente, entre otros. Cuando finaliza el tratamiento se debe realizar el seguimiento, por lo que el paciente debe acudir a la consulta de oncología periódicamente.

3.2 Daños a la salud por radiaciones ionizantes.

La investigación en radiaciones ionizantes no sólo contempla mejorar la tarea cotidiana de interpretar imágenes, diagnosticar y tratar enfermedades, sino también busca nuevos conocimientos en medicina para mejorar las técnicas y ampliar los beneficios de estas prácticas. El uso de las radiaciones da lugar a efectos biológicos sobre la materia viva, por lo tanto, no siempre su aplicación en medicina puede resultar beneficiosa, sobre todo cuando no se maneja adecuadamente (Baró et al., 2000).

Cabe señalar que después de las fuentes de radiación natural, la exposición médica es la mayor fuente de exposición creada por el hombre. Cabe recordar que, posterior al descubrimiento realizado por Roentgen en 1895, los rayos X fueron introducidos con tanta rapidez para el diagnóstico y tratamiento de las enfermedades, que casi enseguida comenzaron a encontrarse lesiones debidas a la exposición excesiva de radiación entre los primeros radiólogos. Las lesiones fueron, sobre todo, reacciones cutáneas en las manos de quienes trabajaban con los equipos de radiología; pero ya en el primer decenio del siglo pasado se habían comunicado otros tipos de lesión, como es el caso de los primeros cánceres atribuidos a la radiación.

Algunos de los descubridores y estudiosos de las radiaciones pagaron muy caro este desconocimiento; varios de ellos murieron de cáncer como Becquerel y Bergognié, quien enfermó de carcinoma espinocelular en las manos, que hizo metástasis ganglionar, sufrió varias operaciones mutilantes y al final murió de cáncer pulmonar metastásico; así como María Curie, quien falleció de leucemia. También, al ser aislado el radio se observaron efectos semejantes, comprobándose que la exposición de la piel a tales radiaciones podría traer consecuencias muy dolorosas (Beldarraín, 2000).

Las lesiones por radiación se producían con bastante frecuencia en los pacientes, en el personal médico y sus ayudantes, principalmente cuando se inició la aplicación de la radiación con fines de diagnóstico médico, ya que se requerían períodos prolongados de exposición para obtener una radiografía aceptable. Uno de los primeros reportes de estudios sistemáticos de este tipo de lesiones fue presentado en el 12º Congreso Internacional de Medicina en Moscú en 1897 por los médicos franceses Oudin, Barthélemy y Darier, en donde señalaban que en 50

accidentes reportados, los tiempos de exposición a radiación fueron de 20 minutos a varias horas (Angiola, 2010).

Las lesiones más frecuentes generalmente eran quemaduras, las cuales llegaban a ser muy graves, al igual que la pérdida de pelo y anemia; la primera muerte debida a los rayos X en Estados Unidos se produjo en 1904.

Con la aparición del tubo de Colidge y el transformador de Snooks, al parecer disminuyó el número de daños a los tejidos superficiales, no obstante, años más tarde se observó que los radiólogos estaban sufriendo ciertos trastornos hematológicos como la anemia aplásica y leucemia, con mucho más frecuencia que los médicos que laboraban en otras áreas (Stewart, 2005).

Por otra parte, se considera que los principales riesgos que determinan los daños biológicos de una exposición son el tipo de radiación y la dosis absorbida, sin embargo, la velocidad con que se recibe esta dosis y el número de veces que el individuo se expone a la radiación, son elementos que pueden modificar los efectos producidos. Por lo tanto, si la dosis es suficientemente grande, puede conducir inclusive a la muerte de la persona irradiada. Las dosis muy elevadas, alrededor de 100 Gray, afectan de tal manera al sistema nervioso central, que la muerte se producirá en cuestión de horas o días.

Si las dosis están comprendidas entre 10 y 50 Gray, y afectan a todo el organismo, se producen lesiones en el sistema gastro-intestinal, con destrucción de las vellosidades intestinales, pérdida de la función digestiva y grandes hemorragias; se presenta una inflamación aguda de los pulmones, conduciendo todo ello a la muerte en cuestión de una o dos semanas.

Por lo que respecta a dosis inferiores entre 3 y 5 Gray, pueden no dañar tan seriamente al aparato digestivo, pero provoca la muerte en la mitad de los casos, en uno o dos meses; sobre todo si se afecta a la médula ósea, tejido en el cual se producen las células de la sangre. La médula ósea y el resto del sistema sanguíneo son de las partes más radiosensibles del cuerpo humano, que pueden resultar dañadas por dosis tan bajas como 0.5 a 1 Gray.

También los órganos genitales y los ojos son muy sensibles; dosis de tan sólo 0.15 Gray que afecten a los testículos pueden provocar la esterilidad temporal del hombre cuando se absorben de una sola vez; para dosis mayores, de 3.5 a 6 Gray, se podría producir una esterilidad definitiva. El cristalino es la parte del ojo más vulnerable a la radiación, la cual produce cataratas y opacidades (Gallego, 2002). Existen diferentes formas para clasificar a los daños que causan las radiaciones ionizantes, una de ellas se basa en la transmisión celular de los efectos y su relación con la dosis recibida. Los efectos biológicos a altas dosis originan efectos deterministas; mientras que los efectos biológicos estocásticos están dados por dosis más bajas.

Efectos deterministas: Son efectos biológicos causados por muerte celular masiva que sufre el individuo expuesto a dosis altas de radiación ionizante y se presentan sólo cuando se rebasa la dosis umbral específica y cuya severidad depende de la dosis absorbida por el tejido u órgano expuesto (Gaona, 2001).

Si las dosis de radiación recibidas exceden los límites de dosis para los órganos y tejidos expuestos, los efectos pueden ser permanentes y el resultado será una patología clínicamente observable como es la necrosis, la pérdida de la función de un órgano o tejido e incluso la muerte. Los hallazgos clínicos después de una exposición a los rayos X dependen del tejido u órgano afectado, por ejemplo en caso de irradiación de los ojos pueden presentarse cataratas y en las gónadas se puede producir esterilidad permanente.

El umbral para la aparición de efectos deterministas clínicamente detectables es de 0.5 Gy considerando una exposición de cuerpo entero. (Gaona, 2006).

Efectos estocásticos. Los efectos estocásticos son aquéllos que aleatoriamente pueden o no aparecer. Para estos efectos, la comunidad científica ha adoptado una actitud conservadora asumiendo la hipótesis de que no hay dosis umbral establecida y su probabilidad de aparición aumenta con la dosis recibida (Consejo de Seguridad Nuclear, 2002).

La no existencia de un umbral teóricamente quiere decir que un solo fotón puede interactuar con el ADN para provocar una alteración genética y dar origen a una neoplasia, este fotón puede ser de la radiación del fondo natural. Cualquier lesión no restaurada o una reparación

defectuosa al material genético aumentará la probabilidad de padecer cáncer o alteraciones hereditarias, que son efectos estocásticos producidos por la radiación al interactuar con la célula.

Los efectos estocásticos son eventos que ocurren al azar y a dosis menores de 100 mGy; la incidencia de cáncer pulmonar por fumar es un ejemplo, ya que no todas las personas que tienen el hábito de fumar o son fumadores crónicos desarrollan cáncer. El efecto estocástico más importante en el ser humano es el cáncer en los individuos expuestos a radiaciones ionizantes. Se ha visto que individuos expuestos a los rayos X han padecido efectos estocásticos diferentes al cáncer, como son los tumores benignos en algún órgano (Gaona, 2006).

Además de algunos daños a la salud que ya se han mencionado, también son frecuentes los riesgos químicos derivados de los líquidos utilizados para revelar y fijar las placas radiográficas, como son los vapores que provocan irritación de vías aéreas, conjuntivitis y quemaduras (Sujul, 2005).

Por otro lado, han ocurrido grandes tragedias en el pasado a causa de la radiactividad, que ocasionaron efectos devastadores, como es el caso de las bombas atómicas lanzadas los días 6 y 9 de agosto de 1945 sobre Hiroshima y Nagasaki Japón, que destruyeron las ciudades y diezmaron a la población. Las repercusiones no sólo se refieren al daño físico directo sobre las personas afectadas, sino a las posibles anomalías genéticas que pueden transmitir a sus descendientes.

Los habitantes de estas ciudades fueron sometidos a altas y bajas dosis de radiación y, a partir de esa terrible experiencia, ha sido posible la detección de muerte por radiaciones, donde cada una afecta a poblaciones más grandes que la anterior.

- 1) Las primeras muertes ocurren casi inmediatamente entre las personas expuestas a muy altos niveles de radiación, entre 2 y 4.5 Servios (Sv), a cuerpo entero. La radiación acaba con el sistema nervioso central y se produce la muerte en horas, incluso en minutos.
- 2) Las personas expuestas a dosis inferiores de radiación, 1-2 Sv, escapan del riesgo anterior, solo para morir por daño gastrointestinal durante la primera o segunda semana después de la

exposición. Los síntomas incluyen anorexia, náusea, vómito, diarrea, calambres intestinales, salivación, deshidratación y pérdida de peso.

3) El tercer tipo de exposición que causa muerte se manifiesta por exposición entre .25-1 Sv; perjudica a las personas al presentarse afección a la médula espinal, que es el tejido responsable de la formación de los elementos de la sangre.

Estos fallecimientos tempranos relacionados con la exposición a radiación, son seguidos por otros dos responsables de la mayoría de los decesos por cáncer (muertes tardías); sin embargo, ese gran número de muertes es más difícil de adjudicar a la exposición a radiaciones, en virtud de que los tipos de cáncer producidos son indistinguibles de los que ocurren naturalmente.

4) Primero aparecen leucemias, principalmente en niños.

5) Cuando el máximo de las leucemias aparece, se puede presentar cáncer de mama, tiroides, pulmón, estómago, hígado, intestino grueso, huesos, esófago, intestino delgado, páncreas, recto y tejido linfático, aproximadamente en ese orden de frecuencia.

Es importante mencionar que las radiaciones no sólo afectan los tejidos sino que además, la exposición del tejido germinal puede afectar a los descendientes de los seres vivos. La magnitud de los daños, depende de la sensibilidad particular de cada sujeto y de su capacidad para compensar y reparar los daños que se hayan originado por dicha exposición (Ferrer, 2002).

De similares consecuencias fue el accidente ocurrido el 26 abril de 1986 en la Central Nuclear de Chernóbil, ubicada 110 km. al norte de Kiev, la Capital de Ucrania en la ex U.R.S.S., que produjo una tragedia colosal; además de la muerte y daños físicos directos que el accidente ocasionó, queda aún por evaluar científica y objetivamente las secuelas genéticas que haya dejado en las personas afectadas y sus descendientes

Por otra parte, en casi todos los países del mundo, a pesar de los grandes avances científicos y tecnológicos, aún existe gran resistencia para reconocer que el interés para evitar o eliminar los riesgos por manejo de sustancias y equipos riesgosos no ha sido suficiente. Bajo esa realidad, es notorio el gran interés de la ciencia médica en adquirir mayores conocimientos en el empleo y desarrollo de tecnología dirigido al diagnóstico y tratamiento de las enfermedades,

ya que durante mucho tiempo se ha descuidado la prevención de los daños en las personas y en el medio ambiente; por lo cual no se pone en duda el beneficio que la investigación y los procedimientos diversos donde se emplean radiaciones benefician a la humanidad, pero sí la seguridad de quienes están expuestos a ellas.

Se puede considerar que podría existir mayor riesgo por exposición directa a radiaciones ionizantes, cuando por desconocimiento o falta de capacitación profesional no se apliquen adecuadamente los principios de protección radiológica para el empleo racional de los métodos de tratamiento.

3.3 Experiencias en el estudio y evaluación de las radiaciones ionizantes.

De acuerdo con un Informe del Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR), la exposición médica a las radiaciones sigue siendo por un amplio margen la fuente artificial de mayor exposición a la radiación ionizante la cual, en el decenio de 1997 a 2007, aumentó poco más del 40%. De esta manera se calcula que cada año se aplicaron 5.1 millones de tratamientos de radioterapia, 4.7 millones de esos tratamientos consistieron en teleterapia y 400 mil en braquiterapia.

En este informe se menciona que la exposición médica en procedimientos de radiodiagnóstico y radioterapia representa el 98% de la contribución de todas las fuentes artificiales. Por lo que respecta a las cifras de los trabajadores expuestos a la radiación ionizante, suman alrededor de 22.8 millones, alrededor de 13 millones están expuestos a fuentes de radiación natural y 9.8 están expuestos a fuentes de radiación artificial.

Los trabajadores del área médica representan el 75% de los trabajadores expuestos a las fuentes de radiación artificial; la cual constituye la segunda fuente a la que está expuesta la población de todo el mundo (UNSCEAR, 2008).

De esta manera, se llevó a cabo una búsqueda de información para documentar de qué manera han estudiado las condiciones de seguridad y protección radiológica en los establecimientos que utilizan radiaciones ionizantes en sus procesos de trabajo.

De acuerdo con Franco (2003), “En el caso de México, las instancias gubernamentales que se encargan de vigilar el cumplimiento de los preceptos legales, según su ámbito de influencia correspondiente, cuentan con instrumentos específicos para efectuar las evaluaciones respectivas. Por ejemplo, la Secretaría de Trabajo y Previsión Social (STPS) realiza inspecciones periódicas en las empresas y cuenta con un documento técnico para efectuar el diagnóstico de las condiciones de seguridad, higiene y medio ambiente de trabajo.

Asimismo, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), a través de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), es la encargada de examinar los asuntos relacionados con la ecología en los centros de trabajo por medio de la verificación industrial, auditorías y peritajes ambientales. Tales instrumentos tienen, por lo menos tres limitaciones:

- 1) Su carácter oficial y obligatorio les resta aceptación en las empresas;
- 2) Su aplicación es realizada por los inspectores de las instituciones correspondientes, lo cual limita su difusión y uso masivo;
- 3) La evaluación de la salud laboral de la empresa es abordada de manera parcial”.

En un estudio realizado en Polonia el año de 1999, se estudiaron a 6,208 trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes, pertenecientes a cuatro sectores principales de trabajo: 1) la industria nuclear; 2) la investigación y la educación; 3) la medicina; y 4) la industria en general. Fueron monitoreados por el Laboratorio Central para la Protección Radiológica (CLOR, por sus siglas en inglés). Los trabajadores que participaron en el estudio estaban distribuidos de la siguiente manera: 39%, en la industria en general; el 26 %, del área de la medicina, el 23 % en la educación e investigación, y aproximadamente el 11 % en la industria nuclear.

La finalidad del estudio fue medir para cada uno de los trabajadores la dosis efectiva para la exposición de cuerpo entero, la dosis equivalente para la exposición de ciertos tejidos finos o ciertos órganos y la dosis efectiva comprometida para la toma de radionúclidos por medio de control dosimétrico sistemático de radiación externa con fotones, beta y neutrones. Para ello

Los métodos de evaluación se basaron en lecturas de dosímetros para monitoreo individual de radiación externa.

Los resultados obtenidos por los investigadores refieren que las dosis más altas fueron de 50 mSv, recibidos por tres operadores de la radiología industrial, aunque no se especifica en el estudio la causa de dicha exposición; mientras que la dosis anual para los trabajadores en cada sector particular fue: 0.22 mSv en la industria nuclear; 0.22 mSv en la educación y la investigación; 0.30 mSv en medicina; y 0.80 mSv en la industria en general (Koczynski et al., 2001).

En 2003 se llevó a cabo un estudio descriptivo en la Universidad de la República de Uruguay (U de la R), que utilizó la investigación participativa y entrevista a informantes clave para determinar la exposición a radiaciones ionizantes en el ambiente de trabajo, el trabajo incluyó a todos los funcionarios de dicha Universidad expuestos a radiaciones ionizantes. Los objetivos de este estudio se dirigieron a analizar los datos registrados en las dosimetrías de cuatro años (2003-2006) para establecer estrategias de vigilancia y prevención.

En los resultados obtenidos se identificaron 22 sectores de 5 Servicios Universitarios con exposición a radiaciones ionizantes que involucran alrededor de 300 funcionarios expuestos. De los valores dosimétricos estudiados, no encontraron alguno que superara los límites permitidos. Cabe mencionar que dicho estudio se considera como el primer programa de vigilancia de exposición a radiaciones ionizantes realizado en ese país, lo que ha permitido centralizar la información de todos los trabajadores de la Universidad expuestos a fuentes radiactivas, y plantean también que los resultados del programa han incidido positivamente en la confianza del control asimétrico en ese país (Tomasina et al., 2004).

Los abortos como posibles daños a la salud relacionados con la radiación, también se describen en un estudio de tipo observacional, comparativo, realizado en Zagreb, Croacia, en un período de 16 años para determinar la ocurrencia de abortos en 61 mujeres ocupacionalmente expuestas a radioisótopos, comparado con 170 mujeres expuestas a rayos X y 53 mujeres sin exposición. Para ello se utilizó un cuestionario estandarizado para investigar los embarazos, antecedentes personales no patológicos y patológicos; entrevistas; y la aplicación aleatoria de un estudio de laboratorio para determinar aberraciones cromosómicas.

Un resultado importante de las mujeres expuestas a radioisótopos es que tuvieron al menos una tasa tres veces superior de abortos espontáneos, comparadas con las mujeres no expuestas. Los autores concluyen que es mucho más probable que los radioisótopos desempeñen un papel mayor en la ocurrencia de abortos espontáneos que los rayos X; y que es compleja la exposición a sustancias químicas y teratogénicas como un riesgo para las mujeres embarazadas (Fucic et al., 2008).

Por otra parte, en Lituania se estudió la exposición ocupacional de personal médico por medio del registro de la dosis efectiva anual, en un período de 1950 a 2003, de tal forma que los datos estudiados fueron agrupados en cuatro períodos: antes de 1959, 1960–1969, 1970–1990, 1991–2003. Los trabajadores se clasificaron en tres categorías ocupacionales: radiología, radioterapia y medicina nuclear. De esta manera, los datos ocupacionales de exposición para el grupo de radiología fueron rastreados en todos los archivos disponibles desde 1950; para la radioterapia, desde 1960; y para medicina nuclear, a partir de 1970.

Los investigadores refieren que entre 1991 y 2003, hubo tres casos observados sobre 50 mSv entre especialistas de radiología de intervención, donde de acuerdo a los autores, la irradiación ocupacional es más alta. Pero además, señalan que otros investigadores proponen que las dosis sobre 20 mSv deberían quedar excluidas, porque no representan una práctica que se maneje adecuadamente. Finalmente, se menciona que el análisis de datos obtenido a partir de registros personales, permite concluir que la dosis efectiva anual común de trabajadores médicos lituanos expuestos a radiación se acortó grandemente en todas las categorías ocupacionales de 1950 a 2003 (Samerdokiene et al., 2008).

En un estudio de cohortes en Finlandia, se evaluó la relación entre la exposición a la radiación acumulada y la incidencia de cáncer entre los médicos que participaban en actividades de diagnóstico de rayos X y radioterapia (radiólogos, cardiólogos, radiólogos de intervención, oncólogos y médicos de otras especialidades). Para ello se utilizó el registro finlandés de exposición ocupacional a la radiación y se identificó una cohorte de 1,312 médicos. Los datos de exposición a la radiación fueron obtenidos de 1970 a 2001 con base en dosímetros individuales. Un universo de 15,821 médicos finlandeses no fueron monitoreados, ya que sólo fueron utilizados como grupo de referencia e identificados sus datos estadísticos. La

incidencia de cáncer fue determinada por los hallazgos en los expedientes del registro de cáncer de Finlandia.

Los investigadores encontraron que la media de la dosis acumulada registrada fue de 12 mSv y el 6% de los médicos recibió una dosis acumulativa registrada de 50 mSv o más. Esta situación es particularmente importante para algunos tipos de cáncer con índices de mortalidad más bajos, como el cáncer de tiroides y el cáncer de piel no clasificado como melanoma. De acuerdo con los investigadores, en la radiología de intervención esto puede deberse a que el haz de radiación en ocasiones puede llegar a las manos de los radiólogos con dosis potencialmente altas de radiación local.

Por otra parte, refieren que encontraron sólo pequeñas diferencias en la incidencia de cáncer entre los médicos expuestos a la radiación y médicos no expuestos. Este hallazgo sugiere que la exposición profesional a dosis bajas de radiación puede no causar un aumento importante en la predisposición a padecer cáncer; aunque también especifican que la duración media del seguimiento en el grupo expuesto fue de sólo de 11 años. Por lo tanto, es posible que algunos de los riesgos podrían no haber sido detectados debido a un tiempo relativamente corto de seguimiento, tomando en consideración que los daños a la salud por este tipo de riesgos pueden ser detectados incluso después de estar expuesto por más de 20 años a la radiación (Jarti et al., 2006).

Por su parte en Zagreb, Croacia, personal del Instituto de Investigación Médica y Salud Ocupacional, llevaron a cabo un estudio dirigido a evaluar los daños en el ADN en leucocitos de sangre periférica del personal médico. Se realizó mediante la prueba del cometa alcalino, que es una prueba también conocida como electroforesis alcalina de células individuales, que evalúa el daño del material genético causado por diferentes agentes químicos y físicos (Prieto et al., 1999); (ADCIS, 2009). Los datos obtenidos se compararon con los resultados de biosimetría citogenética convencional y con el de aberraciones cromosómicas (CA) de prueba. En la investigación participaron un total de 120 sujetos, de los cuales 60 estaban expuestos a radiaciones ionizantes y 60 formaron el grupo control.

El estudio proporciona información sobre los riesgos genéticos debidos a la exposición ocupacional de dosis bajas de radiaciones ionizantes en el departamento de medicina nuclear.

Los investigadores refieren que la exposición ocupacional está principalmente relacionada con las dosis bajas de emisiones ionizantes de algunos isótopos radiactivos y que el tiempo de exposición y de retención puede ser corto o largo, dependiendo de la naturaleza física y química del radionucleido.

Los resultados del estudio indican la posibilidad de consecuencias genotóxicas resultantes de la exposición ocupacional crónica a bajas dosis de radiaciones ionizantes en los departamentos de medicina nuclear. Es importante señalar que los niveles de daño en el ADN detectado en el estudio sólo reflejan las alteraciones de las células blancas de la sangre, y no el daño ocasionado a diferentes órganos por dosis acumulada. Los investigadores refieren también que los niveles de daño del ADN no se correlacionaron con la dosis efectiva registrada. Actualmente, el límite anual de dosis ocupacional es de 50 mSv, sin embargo, con las salvaguardias reglamentarias en vigor, es raro que un POE supere esta dosis.

A pesar de las dosis relativamente bajas que recibió la población expuesta, se observó que los niveles de daño en el ADN primario aumentaron significativamente en el grupo expuesto, en comparación con el grupo control. También se observó que los trabajadores de medicina nuclear tuvieron una incidencia significativamente mayor de rupturas cromosómicas (más de cuatro veces) en comparación con los sujetos no expuestos.

Los resultados obtenidos apuntan a la importancia que tienen los indicadores biológicos de información sobre los riesgos reales de la radiación de personas expuestas, especialmente en relación con la distribución y el grado de exposición a la radiación. En conclusión, el estudio indica la posibilidad de que se presenten consecuencias genotóxicas en el POE de medicina nuclear expuesto a dosis bajas de radiación ionizante; por lo tanto, el personal médico expuesto debe aplicar cuidadosamente los procedimientos de protección radiológica y reducir, lo más bajo posible, la exposición a la radiación para evitar posibles efectos genotóxicos (Kopjar et al., 2004).

En la Ciudad de la Plata, Argentina, se llevó a cabo un estudio comparativo que incluyó a 14 trabajadores del área de radiodiagnóstico de diferentes instituciones y trabajadores no expuestos. Además de los estudios citomoleculares se aplicó un ensayo cometa a partir de sangre periférica y paralelamente se empleó un modelo *in vitro* utilizando células diploides de

pulmón humano (MRC-5) irradiadas con 10 mSv de rayos X con la finalidad de analizar el efecto crónico de este tipo de radiación.

Se encontró que los individuos expuestos presentaron un mayor porcentaje de células que evidenciaban daño genético leve (grados 1 y 2) y se observaron diferencias significativas ($p < 0,001$) entre el grupo expuesto y el control. También se observó aumento significativo en las frecuencias de apoptosis, necrosis y daño severo en la octava exposición de células (MRC-5) irradiadas.

Los autores mencionan que los resultados obtenidos en la población analizada, reforzados por los estudios *in vitro*, indicarían que el daño ocasionado por exposición crónica a bajos niveles de radiación ionizante es mayor al que proponen los modelos lineales sin umbral y sería necesario redefinir las medidas de seguridad e higiene para los trabajadores del área, a fin de minimizar los efectos para la salud (Güerci et al., 2004).

Por otra parte, en Uruguay se realizó un estudio observacional de tipo descriptivo y cualitativo, el cual fue aplicado en un hospital de referencia; este trabajo se dirigió fundamentalmente a estudiar los riesgos químicos tales como fármacos citostáticos, riesgos físicos como las radiaciones ionizantes, y condiciones de trabajo y medio ambiente en el servicio de radioterapia oncológica. Los autores señalan que priorizaron la exposición a radiaciones y a citostáticos por su gravedad potencial. Además incluyeron la elaboración de un mapa de riesgos para sistematizar el resultado de la investigación, posteriormente dicho mapa se discutió con la jefatura y el personal del servicio; se analizaron las dosimetrías personales de los dos últimos años y se realizaron entrevistas a los responsables de cada servicio y la observación del proceso de trabajo.

Los trabajadores profesionalmente expuestos a radiaciones fueron 30, entre médicos radioterapeutas e imagenólogos, técnicos radiólogos, físico especializado en radioterapia y administrativos, así como 8 trabajadores que preparan y administran citostáticos, entre los cuales se encuentran médicos oncólogos y enfermeras. Con relación a la planta física, los investigadores ubicaron tres áreas: radioterapia, radiología y quimioterapia.

Los resultados refieren que en la documentación proporcionada por las autoridades del hospital, se observaron niveles dosimétricos elevados en el dosímetro de anillo, uno de ellos correspondió a un médico que realizaba estudios de histerosalpingografía, sin equipo de protección personal como son los guantes plomados. En la sala de preparaciones encontraron que el área carecía de ducha de socorro para el caso de accidentes, tampoco contaban con un protocolo de normas escritas para el procedimiento de reconstitución de los fármacos, ni con los procedimientos en caso de accidentes y derrames. También observaron prácticas inadecuadas como fue el consumo de alimentos dentro del área y la falta de señalización de seguridad.

Los investigadores concluyeron que optimizar la protección significa comprender que el uso de las fuentes radiológicas debe conducir a una mejor protección de las personas expuestas y que estarán tanto mejor protegidas, cuanto menor sean las dosis de radiaciones que reciban, debiendo actuar en consecuencia. Refieren también que el concepto de optimización es un criterio genérico, sin alusiones a valores específicos, que ha pasado a tener mayor trascendencia que los límites numéricos; de este modo, los organismos internacionales hacen compatible su responsabilidad de ofrecer la mejor recomendación, con la ineludible realidad de que lo mejor no es igual para todos (Álvarez et al., 2007).

Por otra parte, algunos investigadores consideran que en los servicios de salud donde se manejan radiaciones ionizantes, se subestiman algunas medidas para proteger al POE contra riesgos biológicos, ya que la mayoría de las infecciones nosocomiales son transmitidas a través del contacto, en particular con las manos, las cuales pueden estar contaminadas por bacterias, hongos y virus durante el cuidado de pacientes infectados y pueden convertirse en una fuente de infección para el POE y los pacientes susceptibles.

La resistencia a los antibióticos, la sobrecarga de trabajo en las unidades de salud, la falta o la accesibilidad limitada a lavabos o suministros para la higiene y protección de las manos, así como la susceptibilidad a la dermatitis que sufren algunos trabajadores, entre otras, fueron algunas de las razones reportadas por profesionales de salud para no practicar de manera constante las medidas básicas de higiene (Bibbolino et al., 2009).

Como podemos apreciar, muchos de los estudios evalúan las dosimetrías del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes y su relación con patología vinculada a ese riesgo; sin embargo, son pocos los que buscan establecer una relación más amplia con los daños a la salud asociados a este tipo de riesgo, incluidos los trastornos mentales.

Un aspecto a considerar en esta búsqueda de información, es que muchos de los estudios encontrados se llevaron a cabo en plantas nucleares. Y la mayoría de los que se han realizado en establecimientos de salud, están enfocados a evaluar los servicios de radiodiagnóstico; cabe señalar que aunque en los rayos X diagnóstico se utiliza el mismo tipo de radiación que en un servicio de radioterapia, la potencia empleada en este último es mayor.

Un dato que se considera importante en esta información es que, al parecer, las medidas de seguridad y protección radiológica de los establecimientos donde se manejan radiaciones ionizantes, no siempre son suficientes; se carece de ellas; no se supervisa su práctica; o carece de entrenamiento el personal en cuanto a las medidas preventivas adecuadas para evitar daños a la salud.

Otro hallazgo interesante es el que aportan los indicadores biológicos, como son los estudios citomoleculares, los cuales brindan información específica de daño genético. En algunos estudios se menciona que dentro del rango de 0 a 8 Gy, la sensibilidad del valor predictivo del ensayo cometa permite la evaluación de la radiosensibilidad individual en sangre periférica. La significancia de estos estudios podría estar basada en la prevención de efectos deterministas y en la limitación de efectos estocásticos (Güerci, 2003). Por lo que al parecer, es posible detectar daño sin esperar a que la exposición sea por más de diez o veinte años para confirmar, con estudios clínicos de rutina, que el organismo pueda estar afectado.

Aún falta mucho por investigar, cualquiera que sean los riesgos que se generen, se pone en peligro no sólo la salud del POE, sino también la de los pacientes y público en general, por lo que es necesario proponer metodologías que nos permitan conocer de manera integral la salud de los sitios de trabajo, para que de manera específica se establezcan las medidas necesarias para controlar o eliminar dichos riesgos.

4. Protección y seguridad radiológica en radioterapia.

Como hemos podido apreciar, las radiaciones ionizantes, en pequeñas dosis, pueden dar inicio a problemas como cáncer y mutaciones genéticas; y en grandes dosis, ocasionar muerte celular masiva, daño de múltiples órganos y el fallecimiento de la persona (Gaona, 2001); razones más que suficientes para adoptar todas las medidas de seguridad y protección radiológica en los establecimientos de salud.

Es por ello que en este capítulo se describen algunos aspectos básicos que el POE siempre deberá practicar, como son sin duda los principios básicos de seguridad radiológica y los sistemas de limitación de dosis, los cuales tienen la finalidad de lograr que los pacientes reciban las dosis adecuadas y que el POE se proteja durante su práctica profesional.

Asimismo, con el propósito de dar una mayor claridad al lector de las observaciones realizadas en el Cuestionario de Verificación (CV), se enlistan las principales normas oficiales mexicanas que se utilizaron en esta parte de la investigación.

4.1 Requisitos y principios básicos de protección en radioterapia.

En los servicios de radioterapia, las fuentes de radiación consisten en equipos de rayos X para terapia y para simulación de tratamiento, equipos de telecobaltoterapia, aceleradores de electrones, así como emisores beta y gamma usados en braquiterapia; algunos especialistas refieren que en estos servicios, el riesgo más habitual es el de irradiación externa, el cual puede afectar parcial o totalmente al organismo (Foroiberam, 2003).

Los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes son entonces, consecuencia de un número importante de fenómenos que pueden producir alteraciones de la estructura o función de las células y ocasionar su muerte; como ya se ha mencionado, estos efectos dependerán de la dosis y del tiempo en que es absorbida dicha radiación (tasa de dosis). Por lo tanto, es necesario establecer los requisitos y recomendaciones para el cuidado de la salud frente a la exposición de las radiaciones ionizantes.

La Comisión Internacional de Protección Radiológica conocida por ICRP por su sigla en inglés y el Organismo Internacional de Energía Atómica OIEA, son las instituciones

encargadas de diseñar los fundamentos, requisitos, guías y recomendaciones para conocimiento de todos los países, quienes podrán adoptarlas como normativa. Es pertinente por lo tanto, que el personal que labora en las áreas de radioterapia sea altamente especializado y entrenado en el manejo de las radiaciones ionizantes; igualmente las instalaciones deben cumplir con los estándares de seguridad y calidad que se exigen para estas áreas.

En relación a la adopción de estas medidas, el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ, 2004), hace énfasis en el objetivo fundamental de la protección radiológica, y es el de reducir, hasta donde sea posible, los riesgos que implica el uso de materiales radiactivos y dispositivos que producen radiaciones ionizantes. Según la institución, esto se logrará aplicando las medidas preventivas adecuadas para cada situación particular y propone que en general, debe evitarse cualquier exposición innecesaria a la radiación; siempre se deberá vigilar que la exposición sea lo mínima posible; considera que es muy conveniente efectuar previamente un análisis cuidadoso que permita definir los riesgos potenciales y con base en ellos, preparar todos los instrumentos, equipo, vestuario e incluso adiestrarse mediante simulacros para asegurar el mejor control de dichos riesgos.

En los servicios de radioterapia, la protección radiológica se logra mediante el control de factores de riesgo asociados con el uso de radiaciones ionizantes a través de los requisitos y principios básicos de la protección radiológica (Gaona, 1999). Por lo que respecta a la dosis recibida por el personal al hacer uso de las fuentes de radiación, depende de tres principios básicos de protección radiológica que son: *tiempo* de permanencia, *distancia* a la fuente de radiación y *blindaje* de dicha fuente (Gaona, 1999; Bontrager, 2004).

1) El *tiempo* de permanencia en un área de radiación, permitirá conocer el equivalente de dosis efectiva que recibe el personal en su práctica profesional. Es importante conocer cuál es la tasa de dosis en el lugar de permanencia, ya que la dosis es proporcional al tiempo de permanencia en el campo de radiación.

2) Por lo que respecta a la *distancia*, la radiación electromagnética que se utiliza en el tratamiento médico, se propaga en todas las direcciones si no se tiene un sistema de colimación (Gaona, 1999). La intensidad de la radiación del haz útil disminuye al aumentar la distancia entre el punto focal y el personal (Grimaldi, 2006).

3) En cuanto al *blindaje*, La atenuación o bloqueo de la radiación mediante material de blindaje depende de su eficacia, que es consecuencia de las propiedades físicas del material utilizado como barrera, así como de las características de la radiación; estas barreras, son construidas de materiales que absorben total o parcialmente la radiación (Grimaldi, 2006).

Es importante también enfatizar que las consecuencias y daños a la salud pueden seguir acumulándose si se genera sobreexposición o no se utilizan las medidas de seguridad y protección adecuadas para evitar repercusiones a la salud por exposición a la radiación. Por lo tanto, es importante tener siempre presentes cuáles son los elementos que disminuyen o eliminan estos riesgos.

En cuanto a los programas de protección contra las radiaciones, estos se deben apegar al principio de que cualquier radiación ionizante no controlada es perjudicial y puede entrar al organismo por inhalación, ingestión, o absorción a través de la piel.

Por lo que respecta al sistema de limitación de dosis en radiología, incluye seis aspectos principales:

Justificación de las prácticas médicas. Es decir, no se debe autorizar ninguna práctica médica de radioterapia, a no ser que su realización produzca a los individuos expuestos (paciente, POE y público en general), un beneficio neto suficiente para compensar los posibles daños por radiación que se pudieran derivar de dicha práctica; en otros términos, vigilar que haya un beneficio médico y un bajo riesgo individual.

Limitación de dosis. La exposición normal del personal profesionalmente expuesto debe restringirse, de tal manera que ni el total del equivalente de dosis efectiva, ni el total del equivalente de dosis a órganos o tejidos de interés originadas por la práctica de radioterapia, excedan de cualquier límite de dosis establecido por el órgano regulador nacional para el personal ocupacionalmente expuesto (POE).

Optimización de la protección y seguridad radiológicas. Es la reducción de las dosis innecesarias, tanto en el POE como al paciente; que se puede considerar como el máximo beneficio para ambos.

Intervenciones. Son las actividades que se realizan en las instituciones médicas o el organismo regulador, cuyo fin es reducir o evitar la exposición o la probabilidad de exposición a fuentes de radiación, las cuales no forman parte de una exposición laboral o se hallan sin control a consecuencia de la ocurrencia de un accidente o debido a una exposición crónica.

Restricciones. El personal profesionalmente expuesto deberá someterse a restricciones de dosis que no excedan los límites de dosis establecidos por el organismo regulador nacional.

Los niveles orientativos de dosis. Son una guía para el personal y un reflejo del nivel alcanzado en el programa de garantía de calidad (Gaona, 1999).

En México, de acuerdo con la Norma Oficial mexicana NOM-002-SSA2-1993, toda instalación de radioterapia debe cumplir con los requisitos mínimos de seguridad física y radiológica señalados en las normas aprobadas por la Secretaría y la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias, de esta manera, se enumeran condiciones que se deben ejecutar en cada una de las áreas de un servicio de radioterapia, entre otros, los que se señalan a continuación:

Los equipos de teleterapia con material radiactivo deben tener un estricto programa de mantenimiento anual, quinquenal, de reacondicionamiento y un programa de control de calidad del funcionamiento de los equipos y contar con accesorios adecuados para las técnicas usuales de tratamiento. Se debe tener en cuenta que la radiación de fuga deberá ser menor o igual a la milésima parte de la rapidez de dosis proporcionada por el haz útil a un metro de distancia.

La misma norma considera un dispositivo para preseleccionar los tiempos de tratamiento, un sistema accesible a los técnicos que permitan la verificación visual a distancia del paciente durante el tratamiento y otro que permita la interrupción inmediata del tratamiento desde la misma consola cuando el operador advierta una condición insegura o cuando se abran las puertas de acceso del cuarto durante el tratamiento.

De igual forma; el área debe estar equipada con dispositivos de advertencia visual y/o audible al inicio, continuación y terminación de los tratamientos, tanto en la consola de control como en los accesos a la sala de tratamiento. Es importante también un medidor de radiación de área permanente, con señal audiovisual para verificar la posición de la fuente.

Los blindajes del cuarto de tratamiento se calculan de manera que las dosis del personal o público de las áreas adyacentes no sobrepasen de 0.1 mSv o 0.01 mSv, respectivamente. Para el caso específico de teleterapia con aceleradores de partículas, los equipos deberán cumplir además de lo señalado anteriormente con accesorios para la limitación del haz, adecuados para las técnicas de tratamiento; el mantenimiento que garantice el funcionamiento adecuado de los indicadores de parámetros de tratamiento, tales como ángulo de Gantry y cabezal, tamaño del campo, entre otros; y un programa de entrenamiento para las emergencias que se presenten en el cuarto de teleterapia.

Respecto a los requisitos de seguridad para áreas de braquiterapia, se considera que para toda aplicación o retiro de fuentes radiactivas se debe contar con un equipo portátil medidor de radiación gamma, el cual se calibrará anualmente; y un equipo medidor de "área de radiación gamma" con alarma sonora, calibrado a una escala tal que detecte la salida del material radiactivo fuera del almacén de material y del cuarto de aplicación del material radiactivo.

También es importante elaborar y mantener en condiciones operativas un programa de entrenamiento para los casos de emergencias. De acuerdo con la norma, se considera que para el uso de braquiterapia con carga diferida manual, los procedimientos se deben realizar con fuentes radiactivas asociadas a accesorios para su implante apropiados para dar los tratamientos intracavitarios e intersticiales; las fuentes por lo tanto, deben estar sujetas a un estricto control, tanto para su uso como para su almacenamiento. Asimismo, durante los tratamientos se deberán usar mamparas para la protección y seguridad del Personal Ocupacionalmente Expuesto (POE) y las indicaciones contenidas en el Reglamento General de Seguridad Radiológica.

En general, las actividades en materia de salud y seguridad en el trabajo, deben tener por objeto evitar los accidentes y las enfermedades laborales, reconociendo al mismo tiempo la

relación que existe entre la salud, los riesgos, exigencias, las condiciones del lugar de trabajo y la seguridad de los trabajadores.

Los conceptos de protección radiológica deben incluirse de manera primordial desde la planificación de los servicios de radioterapia, hasta el final de la realización de un procedimiento técnico en donde se empleen radiaciones ionizantes y más allá, ya que las medidas de seguridad y el control de calidad, deben estar presentes de manera ininterrumpida. El POE debe comprometerse a cumplir con esos preceptos, ya que no sólo beneficia al paciente o al público en general, sino a su propia persona.

4.2 Normatividad de los establecimientos de radioterapia

Uno de los principales organismos, tanto nacionales como internacionales, encargados de establecer recomendaciones y normas sobre salud, seguridad y protección radiológica es la Organización Internacional del Trabajo (OIT), la cual es una agencia tripartita de la ONU que convoca a gobiernos, empleadores y trabajadores de sus estados miembros con el fin de emprender acciones conjuntas destinadas a promover el trabajo decente en el mundo (OIT, 2009. b).

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR), es la organización internacional que se encarga de emitir las recomendaciones para una buena práctica en la posesión, uso, transporte y almacenamiento del material radiactivo. A su vez, cada país cuenta con sus propios organismos que reglamentan estas actividades, generalmente basados en las recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR).

En México estas funciones recaen en la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS), la Secretaría de Salud, la Secretaría del Trabajo y Previsión Social, y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Secretaría de Energía, 2005).

Cabe hacer mención que en esta parte del trabajo de investigación, se enfatizan aquellos aspectos que tienen relación con la reglamentación en el empleo de radiación ionizante en los establecimientos de salud. En nuestro país existen compromisos para dar cumplimiento a los convenios y recomendaciones internacionales en esta materia, de esta manera iniciaremos con los que ha emitido la Organización Internacional del Trabajo:

En el Convenio 115 de la OIT, sobre la protección contra las radiaciones, emitido en 1960, se establece la importancia de su aplicación en todas las actividades que entrañan la exposición de trabajadores a radiaciones ionizantes y la adopción de todas las medidas apropiadas para lograr una protección eficaz contra las radiaciones ionizantes, desde el punto de vista de la salud y seguridad. En cuanto a la recomendación 114, se establecen compromisos respecto a dicha protección (OIT, 1960).

En cuanto al Convenio número 139 sobre la prevención y el control de los riesgos profesionales causados por las sustancias o agentes cancerígenos, publicado en 1974, se estableció la recomendación 147 sobre cáncer profesional, en donde se establecen los compromisos para evitar o disminuir los riesgos que puedan ocasionar cáncer profesional (OIT, 1974).

En la Convención de la OIT celebrada en 1981, se estableció el Convenio número 155 sobre seguridad y salud de los trabajadores en todas las ramas de actividad económica y la recomendación R164 sobre seguridad y salud de los trabajadores, la cual dispone que se adopten medidas y políticas nacionales sobre estos aspectos y estipula las actuaciones necesarias tanto a nivel nacional como a nivel empresarial, para impulsar la mejora del medioambiente (OIT, 1981).

Mientras que en el Convenio 161 de este mismo organismo sobre los servicios de salud en el trabajo celebrado en 1985, en su recomendación n° 171 relativo a los servicios de salud en el trabajo, dispone la creación de servicios de salud laboral que contribuyan a la implantación de las medidas políticas de seguridad y salud en el trabajo (OIT, 1985).

Por lo que respecta a nuestro país, la Ley General de Salud, en su artículo 119, Fracción III, menciona que corresponde a la Secretaría de Salud y a los gobiernos de las entidades federativas, en sus respectivos ámbitos de competencia: vigilar la seguridad radiológica para el uso y aprovechamiento de las fuentes de radiación para uso médico sin perjuicio de la intervención que corresponda a otras autoridades competentes. Por su parte, el artículo 124 define las fuentes de radiación como cualquier dispositivo o sustancia que emita radiación ionizante en forma cuantificable. Estas fuentes pueden ser de dos clases: aquellas que contienen material radiactivo como elemento generador y las que la generan con base en un

sistema electromecánico adecuado. El artículo 125 de esa misma ley indica que se requiere de autorización sanitaria para la posesión, el comercio, la importación, la exportación, la distribución, el transporte y la utilización de fuentes de radiación de uso médico; así como la eliminación, el desmantelamiento de las mismas y la disposición final de sus desechos.

En el caso de las fuentes de radiación de uso médico o de diagnóstico, la Secretaría de Salud expide las autorizaciones en forma coordinada con la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias. Por lo que respecta al artículo 126 de la misma Ley, se hace referencia a que la construcción de obras o instalaciones, así como la operación o el funcionamiento de las existentes, donde se usen fuentes de radiación para fines médicos, industriales, de investigación u otros deberán observar las normas de seguridad radiológica que al efecto se emitan. Por lo que corresponde al artículo 127, señala que el cuerpo humano sólo podrá ser expuesto a radiaciones dentro de los máximos permisibles que establezca la Secretaría de Salud, incluyendo sus aplicaciones para la investigación médica, de diagnóstico y terapéutica (Secretaría de Salud, 2009).

En cuanto a otros organismos que emiten la normatividad laboral en nuestro país, se encuentra la Secretaría del Trabajo y Previsión Social. Según el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012 y el programa sectorial 2007-2012, los tres ejes rectores de esta Secretaría son: la promoción de inversiones que genere empleos y que fomente relaciones laborales basadas en la productividad; la conciliación de intereses para lograr la paz laboral; la legalidad para hacer valer la ley, sobre todo tratándose de previsión social, de inclusión laboral y de equidad de género.

La Ley Orgánica de la Administración Pública Federal establece en su artículo 40 que a la Secretaría del Trabajo y Previsión Social le corresponde estudiar y ordenar las medidas de seguridad e higiene industriales para la protección de los trabajadores, y vigilar su cumplimiento, así como llevar las estadísticas generales correspondientes a la materia del trabajo, de acuerdo con las disposiciones de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público.

Asimismo el Reglamento Interior de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social en su artículo 17, fracción I, menciona que corresponde a la Dirección General de Inspección Federal del Trabajo vigilar el cumplimiento de las normas de trabajo contenidas en la Constitución

Política de los Estados Unidos Mexicanos, en los tratados o acuerdos internacionales celebrados conforme a la misma, en la Ley Federal del Trabajo y en sus reglamentos, normas oficiales mexicanas, instructivos, convenios, acuerdos y contratos de trabajo, así como en todas aquellas disposiciones dictadas por la Secretaría en ejercicio de sus facultades, y solicitar a los patrones, trabajadores e integrantes de las comisiones mixtas, se les envíe la información y documentación necesaria para vigilar dicho cumplimiento.

En el artículo 18, fracción II del mismo reglamento, se señala que corresponde a la Dirección General de Seguridad y Salud en el Trabajo instrumentar los mecanismos conducentes para promover el cumplimiento de la normatividad en materia de seguridad, salud y medio ambiente de trabajo, incluyendo la prevista en los tratados internacionales ratificados por México en la materia (STPS, 2003).

Por su parte, el Reglamento General de Seguridad Radiológica, tiene por objeto proveer en la esfera administrativa a la observancia de la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en Materia Nuclear lo relativo a seguridad radiológica, y faculta a la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal para expedir por conducto de la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias, los apéndices, normas técnicas, manuales e instructivos, condiciones de licencias, autorizaciones y permisos para determinar las normas de seguridad radiológica.

Por lo que se refiere a la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS), se le considera como un órgano desconcentrado de la Secretaría de Energía, actúa como regulador en materia de usos y posesión de material radiactivo mediante el Reglamento General de Seguridad Radiológica. El 2 de junio de 2005, se publicó el Manual de Organización de la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias, expedido por la Secretaría de Energía. En este manual, se estipula que cualquier persona que tenga conocimiento de un incidente que involucre materiales o combustibles nucleares, materiales radiactivos o equipo que los contenga, o condiciones que a su juicio puedan ocasionarlo, deberá dar aviso de inmediato a esta comisión.

Y en el artículo 29 del mismo manual, se hace referencia a la competencia de la Secretaría de Energía por conducto de la Comisión para autorizar la adquisición, importación, exportación, posesión, uso, transferencia, transporte, almacenamiento y destino o disposición final de

material radiactivo y dispositivos generadores de radiación ionizante. En el artículo 32, se enfatiza que las instalaciones nucleares y radiactivas serán objeto de inspecciones, auditorías, verificaciones y reconocimientos.

Dentro de algunas de sus atribuciones se encuentran las siguientes: vigilar la aplicación de las normas de seguridad nuclear, radiológica, física y las salvaguardias para que el funcionamiento de las instalaciones nucleares y radiactivas se lleven a cabo con la máxima seguridad para los habitantes del país; así como vigilar el cumplimiento de las disposiciones legales y los tratados internacionales en esta materia (Secretaría de Energía, 2005).

Cabe señalar que a nivel internacional, cada país cuenta con sus propios organismos que reglamentan estas actividades, las cuales generalmente están basadas en las recomendaciones de la CIPR. En México estas funciones recaen en la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias; la Secretaría de Salud; la Secretaría del Trabajo y Previsión Social; y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

A su vez, estos organismos han establecido Normas Oficiales Mexicanas (NOM) que regulan diversos aspectos relacionados al manejo de las radiaciones ionizantes en nuestro país, por lo que consideramos importante enlistar aquellas que se han consultado para esta investigación. Asimismo, para dar una idea general de las necesidades de cumplimiento y vigilancia que se debe tener en los establecimientos donde se utilizan radiaciones ionizantes.

Norma Oficial Mexicana **NOM-001-STPS-2008**, Edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo-Condiciónes de seguridad.

Norma Oficial Mexicana **NOM-002-STPS-2000**, Condiciónes de seguridad-Prevención, protección y combate de incendios en los centros de trabajo.

Norma Oficial Mexicana **NOM-012-STPS-1999**, Condiciónes de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se produzcan, usen, manejen, almacenen o transporten fuentes de radiaciones ionizantes.

Norma Oficial Mexicana **NOM-015-STPS-2001**, Condiciónes térmicas elevadas o abatidas-Condiciónes de seguridad e higiene.

Norma Oficial Mexicana **NOM-026-STPS-2008**, Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías.

Norma Oficial Mexicana **NOM-029-STPS-2005**, Mantenimiento de las instalaciones eléctricas en los centros de trabajo-Condiciones de seguridad.

Norma Oficial Mexicana **NOM-026-NUCL-1999** - Vigilancia médica del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes.

Proyecto de Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-031-NUCL-1999, Requerimientos para la calificación y entrenamiento del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes, que en lo sucesivo se denominará **PROY-NOM-031-NUCL-2008**, Requerimientos para el entrenamiento del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes.

NORMA Oficial Mexicana **NOM-032-NUCL-1997**, Especificaciones técnicas para la operación de unidades de teleterapia que utilizan material radiactivo.

Norma Oficial Mexicana **NOM-033-NUCL-1999**, Especificaciones técnicas para la operación de unidades de teleterapia. Aceleradores lineales.

Norma Oficial Mexicana **NOM-002-NUCL-2004**, Pruebas de fuga y hermeticidad de fuentes selladas.

Norma Oficial Mexicana **NOM-002-SSA2-1993**, Para la organización, funcionamiento e ingeniería sanitaria del servicio de radioterapia.

Como se puede apreciar, la normatividad nacional e internacional es amplia y constituye un compromiso por parte de nuestro país, tanto con los organismos internacionales como con el marco legal vigente a nivel nacional, medidas estrictamente obligatorias para la prevención de daños a la salud de los trabajadores.

5. Metodología para la verificación de la seguridad y protección radiológica en un servicio de radioterapia

El Hospital de tercer nivel sede de nuestro estudio, se encuentra ubicado en México, Distrito Federal y se fundó el 5 de febrero de 1905; en la actualidad cuenta con 54 edificios que albergan casi 900 camas censales, además de una infraestructura tecnológica sofisticada donde trabajan alrededor de seis mil 380 trabajadores en 19 áreas diferentes; cabe señalar que para el presente estudio se consideraron 60 trabajadores del servicio de radioterapia, ya que por las labores que realizan son catalogados como Personal Ocupacionalmente Expuesto (POE).

El hospital cuenta con 39 servicios médicos de especialidad y de apoyo al diagnóstico, tratamiento y rehabilitación. Ahí, generalmente se proporcionan más de 700 mil consultas cada año y se efectúan entre 34 y 40 mil cirugías, desde las más sencillas hasta las complejas de cerebro, corazón y pulmón, entre otras (HGM, 2008. a).

Como parte de los festejos por el centenario 1905-2005 de la fundación de este establecimiento, se consideró la inauguración del área de radioterapia del Servicio de Oncología, el cual lleva casi 60 años operando (HGM, 2008 b y d). Actualmente, la clínica de radiocirugía de este nosocomio se encuentra integrada por especialistas entrenados en radiocirugía, los cuales realizan procedimientos mediante estereotaxia. La clínica, inició la aplicación de tratamientos a partir de 1999; y a partir de Julio del 2005, se integró una nueva tecnología con un acelerador lineal Varian y los programas de planeación Brainlab (García, 2006); con lo cual México se ubica como uno de los mejores centros en América Latina.

De acuerdo con el anuario estadístico del hospital, durante el año 2008 se ofrecieron un total de 66,038 consultas de oncología, de las cuales en 54,672 (83%) casos integraron el diagnóstico de neoplasia maligna y el resto se clasificaron como neoplasias benignas y de comportamiento incierto. Considerando las cifras anteriores, podemos inferir que varios de estos pacientes fueron canalizados al servicio de radioterapia a fin de que se les realizaran diferentes prácticas, de tal modo que, en ese mismo año, se aplicaron un total de 28,997 sesiones de radioterapia y se realizaron 621 implantes o inserciones radiactivas (HGM, 2008. c).

En la actualidad, el servicio de radioterapia, cuenta físicamente con una sala de tratamiento de braquiterapia de alta tasa de dosis, un área de hospitalización de braquiterapia de baja tasa de dosis, dos salas de tratamiento de telecobalto, dos aceleradores lineales, una sala de simulación tomográfica y un quirófano. En todas estas salas se proporciona tratamiento a los pacientes que presentan algún proceso tumoral, generalmente maligno, así como otras alteraciones no malignas como por ejemplo, cicatrices queloides.

Para llevar a cabo la verificación del servicio de radioterapia, que será objeto de nuestra atención, se empleó una metodología para evaluar las medidas de protección y seguridad laboral en dicho sitio. La finalidad de aplicar dicha metodología fue, primero, analizar y reconstruir de manera integral los procesos de trabajo y poder establecer su relación e impacto en la salud de los trabajadores. La segunda finalidad que se consideró de gran importancia, fueron los resultados obtenidos del Cuestionario de Verificación, que al igual que los Diagramas Complejos de Salud en el Trabajo sirvieron de base para proponer alternativas a los problemas detectados.

El estudio que se realizó es de tipo observacional, ya que no se intenta modificar a voluntad propia ninguno de los factores que intervienen en el proceso. La captación de la información fue transversal, ya que se recolectaron datos en un solo momento. Y es descriptivo, ya que su propósito es describir variables, así como analizar su incidencia e interrelación en un momento dado (Hernández, 2000).

De acuerdo con Méndez (1990) en los estudios transversales las variables se miden una sola vez y no se pretende evaluar la evolución de esas unidades. Este trabajo de investigación es descriptivo, ya que sólo cuenta con una población que se describe en función de un grupo de variables y respecto de la cual no existen hipótesis centrales.

Para efectuar el estudio se evaluaron las actividades laborales en las salas de tratamiento: 1) braquiterapia alta tasa de dosis; 2) braquiterapia baja tasa de dosis; 3) telecobalto; 4) acelerador lineal; y 5) simulación tomográfica. Se incluyeron además áreas de recepción de pacientes, pasillos, vestidores y áreas de almacenamiento de desechos municipales y biológico-infecciosos.

El trabajo de campo se desarrolló durante el mes de marzo de 2009. Para realizar la investigación se aplicó una modificación del modelo denominado Verificación, Diagnóstico y Vigilancia de la Salud Laboral en las Empresas (Franco, 2003), el cual utiliza la observación directa y revisión documental para efectuar la evaluación, análisis y monitoreo integral de la salud en el trabajo y está enfocado a cuantificar e incrementar el nivel de eficacia y a promover la mejora de las empresas e instituciones en materia de salud laboral, por lo tanto, estudia la salud en el trabajo de manera integral. Dicha modificación del modelo consta de tres instrumentos de recolección de información:

1. Cédula de Información General del Establecimiento (CIGE).
2. Diagramas Complejos de Salud en el Trabajo (DCST).
3. Cuestionario de Verificación (CV)

Esta metodología tiene un carácter integrador en tres niveles: el legal, el administrativo y el funcional, lo que facilita estructurar un verdadero diagnóstico de la salud laboral en la empresa y se compone de tres elementos clave: resultados, conclusiones y recomendaciones.

Cédula de Información General del Establecimiento (CIGE). Está compuesta por tres apartados o grupos de variables:

- 1) Identificación de la empresa, considera las variables: nombre o razón social del establecimiento, dirección, teléfono, país, división, grupo o fracción económica, clase de riesgo, grado de siniestralidad y prima de riesgo.
- 2) Datos del personal, incluye las variables: número o código del trabajador, nombre, edad, sexo, categoría, ocupación o puesto de trabajo, antigüedad en la empresa, antigüedad en la ocupación o puesto de trabajo, planta o división, área, departamento o sección, turno, sindicalizado o no sindicalizado; eventual (temporal) o de planta (base); algunos grupos de riesgo como son los menores de edad; mujer en gestación o lactancia; discapacitado.
- 3) Jornada laboral incluye las variables: duración de la jornada por turno (horas de trabajo por día o por semana); asimismo consigna la existencia o ausencia de: trabajo por horas, rotación de turnos, guardias, doble turno, horas extra: tarea, destajo, bonos o primas, pausas de trabajo, descanso semanal y vacaciones. Para cada una de las respuestas

anteriores se considera realizar una breve descripción de las características del concepto explorado.

Diagramas complejos de salud en el trabajo. Están constituidos por tres elementos centrales:

- 1) Diagramas de flujo del proceso de trabajo. Es la representación gráfica y ordenada de las distintas fases o etapas del proceso de trabajo, se construyen a partir de diagramas de bloque o con la simbología de la American Society of Mechanical Engineers (ASME).
- 2) Descripción de los diagramas de flujo del proceso de trabajo. Son cuadros de resumen en donde se sintetizan los elementos del proceso laboral por medio de tres preguntas fundamentales: ¿Qué se hace? ¿Con qué se hace? ¿Cómo se hace?.
- 3) Cuadros de resumen de los diagramas complejos de salud en el trabajo. Consisten en seis columnas relacionadas entre sí, para mostrar de manera sencilla e íntegra las características del proceso de trabajo:
 - Fases o etapas del proceso laboral
 - Riesgos y exigencias
 - Probables daños a la salud
 - Número de trabajadores expuestos
 - Medidas preventivas actuales
 - Propuesta de acciones preventivas

El objetivo principal de los Diagramas Complejos de salud en el Trabajo es recuperar en su riqueza y complejidad el proceso laboral como una totalidad, es decir, pretenden superar las limitaciones que impone el estudio de los centros de trabajo desde la perspectiva parcial de las mediciones puntuales.

En resumen, los Diagramas Complejos de salud en el Trabajo son una metodología de índole cualitativa, que utiliza las técnicas y procedimientos descriptivos de la etnografía ya que mediante la observación directa y la entrevista se ubicaron las salas de tratamiento; se identificaron cuáles fueron los elementos y los procesos de trabajo así como al Personal Ocupacionalmente Expuesto (POE); las actividades que realizaban en los sitios de trabajo, la

percepción que este personal tenía de la aparición de algún síntoma, daño físico o alteración psicológica relacionada con la ejecución de las actividades de trabajo cotidianas y se identificaron riesgos y exigencias.

A continuación, se presenta un cuadro donde se muestran los riesgos y exigencias reunidos en cinco grupos, los cuales se señalan con números romanos, a fin de facilitar la identificación de la nocividad laboral y ubicar aquellos detectados en el servicio de radioterapia, ya que de esta forma es como se presentan los resultados de los Diagramas Complejos de Salud en el Trabajo (Franco, 2010).

GRUPO	RIESGOS Y EXIGENCIAS
I. Riesgos derivados de los medios de trabajo.	Temperatura, humedad, ventilación, ruido, vibraciones, radiaciones, iluminación.
II. Riesgos derivados de la transformación de los objetos de trabajo.	Polvos, humos, gases, vapores, líquidos, biológicos.
III. Exigencias laborales derivadas de la actividad del trabajador.	Posiciones incómodas, esfuerzo físico intenso, trabajo sedentario.
IV. Exigencias laborales derivadas de la organización y división del trabajo.	Jornada y ritmo de trabajo, control del proceso de trabajo, trabajo monótono, repetitivo, minucioso, atención, supervisión estricta, falta de comunicación, desplazamientos.
V. Riesgos que los medios de trabajo representan por sí mismos.	Accidentes debidos a maquinaria, equipos, herramienta, instalaciones.

Cuestionario de verificación. Está estructurado en tres capítulos que contienen veintidós apartados, con un total 416 preguntas o enunciados. Para una mejor identificación, los capítulos están referidos con números romanos, los apartados de cada capítulo con números arábigos y las preguntas de cada apartado con numerales arábigos:

Capítulos	Apartados o Secciones	Preguntas o Enunciados
1. Evaluación preliminar del establecimiento	10	95
2. Reglamento General de Seguridad Radiológica	7	248
3. Condiciones de Seguridad e Higiene	5	73
Total	22	416

Los pasos que se siguieron para recoger la información fueron los siguientes. Para poder aplicar la Cédula de Información General del Establecimiento (CIGE) y el Cuestionario de Verificación (CV) se procedió previamente a realizar un recorrido preliminar por el área física del servicio de radioterapia, para ubicar las diferentes salas de tratamiento con que cuenta, y tener un primer acercamiento a los procesos de trabajo.

Posteriormente se realizó un segundo recorrido para poder contestar la CIGE, donde se contó con el apoyo del Jefe de Física Médica y de su personal, quienes aportaron información relevante durante la aplicación del instrumento. En esta parte también se recurrió a la entrevista individual del personal y a la revisión de expedientes para verificar algunos datos que requiere la CIGE.

Este recorrido fue indispensable para construir los procesos de trabajo de las diferentes salas de tratamiento con que cuenta el servicio. Para ello fue importante no solo emplear la observación directa para ubicar las fases del proceso de trabajo, sino contar con la participación y apoyo del personal médico, de enfermería, técnico y de física médica, a fin de aclarar aspectos técnicos y de organización laboral. Esto sirvió para elaborar, posteriormente, los Diagramas Complejos de Salud en el Trabajo.

Más adelante, se llevó a cabo un tercer recorrido por el área para poder contestar el primer capítulo de la verificación, el cual se denomina Evaluación preliminar del establecimiento. Cabe señalar que, en esta parte, se utilizó la observación directa como un elemento primordial para conocer las condiciones generales de seguridad e higiene del sitio de trabajo. También se registraron las observaciones derivadas de los problemas detectados en las diferentes áreas evaluadas; este aspecto fue fundamental para estructurar la propuesta de intervención, ya que a partir del conocimiento de las fallas o incumplimientos del establecimiento, se inicia el proceso para superar los problemas detectados y establecer un programa de vigilancia de la salud laboral.

El siguiente paso fue, con la colaboración del jefe de Física Médica, revisar la documentación oficial para evaluar el segundo y tercer capítulo del CV, los cuales revisan los aspectos relacionados con el Reglamento General de Seguridad Radiológica, así como las Condiciones de Seguridad e Higiene. A continuación se realizaron los cálculos de los totales, índices y

porcentajes de eficacia, así como la elaboración de las hojas de resultados. Es conveniente señalar que para tener un panorama más amplio en la ejecución de dichos cálculos, se recomienda consultar: “Un modelo holístico para la evaluación integral de las empresas” (Franco, 2003). Cabe señalar que durante la evaluación se efectuó el control de calidad con el fin de revisar que todas las preguntas estuvieran contestadas y los cálculos correctos.

Finalmente, se estructuró el diagnóstico, que está basado en tres tareas fundamentales: elaborar resultados, conclusiones y recomendaciones. Para mostrar los resultados de manera sencilla, se elaboraron las hojas de resultados. A partir de los resultados obtenidos de los Diagramas Complejos de Salud en el Trabajo y del Cuestionario de Verificación, se planteó una serie de recomendaciones, con la finalidad de proponer alternativas de solución a los problemas encontrados.

6. Resultados.

Uno de los aspectos que se consideran más importantes en esta investigación son precisamente los resultados, por lo que aquí se hace una descripción general de los datos obtenidos a través de los tres instrumentos de recolección de información que se utilizaron. Se presentan en primer término, los que corresponden a la Cédula de Información General del Establecimiento (CIGE), que contiene la identificación del establecimiento, los datos del personal y la jornada laboral.

Posteriormente se muestran los Diagramas Complejos de Salud en el Trabajo (DCST), que constan de: 1) Diagramas de Flujo del Proceso de Trabajo; 2) Descripción de los Diagramas de Flujo del Proceso de Trabajo; y 3) Cuadros de Resumen de los Diagramas Complejos de Salud en el Trabajo. Enseguida se exponen los resultados de los tres capítulos del Cuestionario de Verificación, resultados que brindan un panorama de las condiciones generales de seguridad, higiene y seguridad radiológica del establecimiento. Finalmente se realiza el análisis de los resultados obtenidos.

6.1 Cédula de Información General del Establecimiento (CIGE).

Identificación del Establecimiento. Se localiza en México, Distrito Federal. Según el catálogo de actividades para la clasificación de las empresas en el seguro de riesgos de trabajo, capítulo único, artículo 196, del Reglamento de la Ley del Seguro Social en Materia de Afiliación, Clasificación de Empresas, Recaudación y Fiscalización; el servicio de radioterapia corresponde a la división económica 9 (Servicios sociales y comunales); al Grupo industrial 92 (Servicios médicos, asistencia social y veterinarios); a la Fracción industrial 922 (Servicios médicos, paramédicos y auxiliares), clase de riesgo II, riesgo bajo (IMSS, 2005).

Cabe señalar que de acuerdo al Reglamento General de Seguridad Radiológica, este centro de atención está clasificado como 1-A, es decir, una de las de más alto riesgo, ya que se trata de un equipo generador de radiación ionizante (Secretaría de Energía, 1988). Es importante señalar que al revisar la clasificación que estas dos instancias dan a estos sitios de trabajo, se observa la falta de concordancia en cuanto a la determinación de riesgo de los servicios de radioterapia.

Datos del personal. En el servicio de radioterapia laboran un total de 60 trabajadores, de los cuales 19 son técnicos radioterapeutas, que corresponden al 31.7% del total del personal; 15 enfermeras (25%) con capacitación en radioterapia; 11 médicos oncólogos radioterapeutas (18.3%); 11 físicos médicos (18.3%); 3 médicos residentes (5%) y un médico radiólogo (1.7%).

**Personal Ocupacionalmente Expuesto (POE), según grupos de edad
Servicio de radioterapia, 2009.**

Edad	Núm. de trabajadores	%
25 a 34 años	23	38
35 a 44 años	23	38
45 a 54 años	10	17
55 y más	4	6
Total	60	100

Fuente: CIGE aplicada al servicio de radioterapia, 2009.

En cuanto al género, la mayor parte del POE son mujeres: 32 (53.3%); y 28 (46.7%) son varones. Sus edades oscilan entre los 25 y 62 años de edad, predominando el personal más joven que se encuentra en los grupos de 25 a 44 años con 46 trabajadores (76.7%); y el resto (14) se ubica en los grupos de 45 a 55 y más años. Como se puede observar, en algunas instituciones prestadoras de servicios como es el caso del sector salud, la mayor parte de los trabajadores son mujeres, y en este caso, la mayoría en edad reproductiva; esta información resulta relevante, ya que el POE femenino que labora en las salas de cobaltoterapia y en el área de hospitalización de braquiterapia, podrían tener mayor riesgo si no se toman las medidas adecuadas para proteger al embrión durante el periodo de organogénesis, inclusive antes de que se conozca de un embarazo.

**Personal Ocupacionalmente Expuesto (POE), según la antigüedad en el trabajo
Servicio de radioterapia, 2009.**

Antigüedad	Núm. de trabajadores	%
1 a 5 años	26	43.3
6 a 10 años	20	33.3
11 a 15 años	8	13.3
15 a 20 años	4	6.7
Más de 20 años	2	3.3
Total	60	100

Fuente: CIGE aplicada en el Servicio de radioterapia. HGM, 2009.

Existe un rango muy amplio en cuanto a la antigüedad en el servicio, ya que va desde el personal que sólo tiene un año hasta aquellos que tienen 35 años laborando en esta área. De ellos, sólo 2 trabajadores (3.3%) tienen más de 20 años de antigüedad; 12 (20%) han laborado en este sitio entre 11 y 20 años; y la mayoría, 46 trabajadores (76.6%) tienen menos de 10 años de antigüedad en el empleo. En este aspecto, es importante considerar que la mayoría del personal de técnicos y médicos, al terminar su jornada laboral en este sitio de trabajo, se presentan en otra institución diferente para continuar laborando en actividades propias de su especialidad.

Bajo estas circunstancias, se pueden considerar que el personal que hace un doble turno, duplica los tiempos de exposición y por lo tanto los riesgos laborales. Cabe señalar que al revisar los expedientes del POE, estos están incompletos, ya que tanto los datos personales como los datos específicos relativos a la dosis efectiva acumulada y el de trabajos previos o último trabajo en el que prestaron sus servicios también se encontraron incompletos. Esto asume mayor importancia si se considera que para llevar un control de la salud del POE en los sitios de trabajo donde se manejan radiaciones ionizantes es imprescindible conocer no sólo las dosis recibidas y acumuladas, sino también la antigüedad en los puestos de trabajo, entre otros aspectos.

Jornada laboral. La mayoría del personal, 36 trabajadores (60 %) que labora en este servicio se encuentra en el primer turno, 15 (25%) de segundo turno, 5(8.3%) de tercer turno y 4

(6.7%) turno mixto. El personal de física médica labora en su mayoría en el primer turno, pero sus horarios son diferentes: de 8:00 a 16:00 horas; de 7:00 a 15:00 horas y de 6:00 a 14:00 horas. En cuanto al personal de médicos residentes, éstos realizan guardias de 24x24 horas de lunes a viernes. Los días de descanso son sábado y domingo.

Vacaciones: El personal con mayor antigüedad en el servicio, más de 10 años, anualmente tiene derecho a tres períodos vacacionales de tres semanas cada uno. Al resto del personal con menos antigüedad le corresponden tres períodos de vacaciones al año, con una duración de dos semanas cada uno.

Bonos o primas: Una de las prestaciones que otorga la institución es el de un bono económico que denominan de gastos por autorización, otro bono adicional para el personal que se encuentra clasificado con alto y mediano riesgo y uno más por puntualidad al finalizar el año. No cabe duda que este tipo de prestaciones favorecen de manera temporal la situación económica del trabajador, pero no evitan, sustituyen o compensan en absoluto los riesgos que pueden dañar la salud del POE cuando la seguridad y protección radiológica no se aplican de manera correcta.

6.2 Diagramas Complejos de Salud en el Trabajo

En este apartado se ofrece primero, una descripción sintetizada de algunas funciones técnicas que desempeña el POE en el servicio de radioterapia y a continuación se hace una descripción general del proceso de trabajo del servicio de radiología.

Posteriormente se ofrece de manera particular información concreta correspondiente al proceso de trabajo de cada sala de tratamiento, el Diagrama de Flujo del Proceso de Trabajo, la Descripción del Flujo del Proceso de Trabajo y el Cuadro de Resumen del Diagrama Complejo de Salud en el Trabajo.

El servicio de radioterapia ofrece atención médica que requiere el empleo de equipo de alta tecnología y por lo tanto necesita contar con personal profesional especializado como son los médicos oncólogos radioterapeutas, quienes son los responsables de la prescripción y planeación del tratamiento, la supervisión y vigilancia del paciente.

El médico con especialidad en radiología tiene como función principal, realizar una interpretación adecuada de las imágenes obtenidas de manera convencional o digital. Los residentes médicos realizan casi las mismas funciones que los médicos especialistas, sólo que requieren de la dirección, asesoría y supervisión de los médicos especialistas. Por su parte el personal de física médica, aplica métodos de cálculo, control de calidad, participa en la planeación del tratamiento, supervisa los aspectos de seguridad y protección radiológica.

En cuanto a los técnicos en radioterapia, son personal especializado en tratamientos radioterapéuticos y en el manejo de los equipos. Entre sus principales responsabilidades se encuentran la ejecución diaria del tratamiento prescrito y el cuidado del paciente en las unidades de tratamiento, la verificación del buen funcionamiento de los equipos que usa y la realización de las simulaciones.

También el personal de enfermería desempeña funciones importantes, ya que colabora en la administración y vigilancia de la medicación y medio de contraste proporcionados al paciente, al igual que en la realización de los diferentes procedimientos en las áreas de hospitalización y quirófano.

A continuación se describen los cinco procesos de trabajo que corresponden a las salas de tratamiento siguientes:

1. Sala de tratamiento de braquiterapia alta tasa de dosis.
2. Sala de tratamiento de braquiterapia baja tasa de dosis.
3. Sala de tratamiento de telecobalto (Phoenix y Elite)
4. Sala de tratamiento de acelerador lineal (Varian y Elekta)
5. Sala de simulación tomográfica.

El proceso de trabajo general, inicia de manera semejante en casi todos los servicios, con excepción del servicio de braquiterapia el cual se describirá más adelante. Antes de iniciar un tratamiento con radioterapia el médico oncólogo-radioterapeuta habla con el paciente y le explica los beneficios y riesgos del tratamiento.

Cuando el paciente asiste al servicio de radioterapia, entrega en la recepción del servicio de radioterapia su carnet de citas, la tarjeta de control y su recibo de pago para recibir el tratamiento correspondiente, a continuación, una de las secretarías del servicio lleva los documentos al departamento de física médica donde se realizará la planeación del tratamiento y posteriormente la misma secretaria debe bajar a la sala de tratamiento correspondiente para entregar la hoja de simulación y hoja de control de tratamiento para que inicie la terapia del paciente.

La simulación consiste en tomar medidas para facilitar la ubicación precisa para la entrada de haces de irradiación externa en cada una de las sesiones de tratamiento y realización de marcajes en la piel; se prepara físicamente al paciente y se le inmoviliza con distintos dispositivos como son las mascarillas termoplásticas u otros, dependiendo de la localización tumoral y de la precisión de la radiación requerida. A continuación se realiza una tomografía de planificación y se obtienen las imágenes axiales correspondientes. Estas imágenes de la TAC son enviadas a un ordenador para la planificación virtual del tratamiento de irradiación.

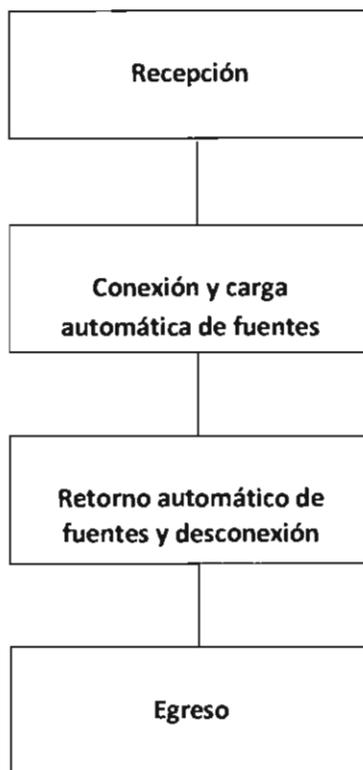
Finalmente, se inicia la terapia en la sala de tratamiento respectiva, en la misma posición en la que se han realizado los procedimientos de simulación y planificación. En todas las salas de tratamiento se lleva a cabo la vigilancia y el control del estado del paciente a través de un sistema de circuito cerrado de televisión. Después de recibir el tratamiento, se programan las citas posteriores del paciente para verificar su recuperación y evolución. Ahora se describirá brevemente cada uno de los procesos de trabajo que corresponde a las cinco salas de tratamiento del servicio de radioterapia, así como la presentación de los tres elementos que conforman los Diagramas Complejos de Salud en el Trabajo: 1) El Diagrama de flujo del Proceso de Trabajo; 2) La Descripción del Diagrama de Flujo del Proceso de Trabajo; y 3) El Cuadro de Resumen del Diagrama Complejo de Salud en el Trabajo.

Sala de tratamiento de braquiterapia alta tasa de dosis. Con respecto a esta área, el procedimiento inicia con la identificación del paciente. Cabe señalar que algunas pacientes ambulatorias, es decir, que no requieren hospitalización como es el caso de quienes presentan diagnóstico de cáncer cérvico-uterino, ingresan primero al quirófano para que les sean instalados dispositivos en cavidad y posteriormente son trasladadas en camilla a la sala de tratamiento, donde son recibidas por el médico, quien revisa la colocación de dichos

dispositivos. En caso de presentar otro diagnóstico, el paciente pasa directamente a la sala de tratamiento y es conducido también por el médico. Enseguida el personal de física médica ingresa los datos al sistema de cómputo del equipo.

Al ingresar a la sala de tratamiento, el médico prepara físicamente al paciente para realizar la conexión de los dispositivos a la fuente que contiene el material radiactivo, en este caso se trata de ^{192}Ir ; a continuación el médico sale de la sala de tratamiento y cierra manualmente la puerta emplomada. Enseguida el personal de física médica verifica el tratamiento y realiza los ajustes necesarios para aplicarlo; durante el procedimiento, el paciente siempre permanece vigilado a través de un circuito cerrado de televisión y audio para atender cualquier contingencia o necesidad que se presente. Al concluir la aplicación de la terapia, el médico entra a la sala de tratamiento con un detector Geiger-Müller a fin de corroborar los niveles de radiación; desconecta los dispositivos de la fuente y sale con el paciente de dicha sala para darle las indicaciones correspondientes; de esta manera concluye el procedimiento.

Diagrama de Flujo del Proceso de Trabajo
Sala de Tratamiento de Braquiterapia Alta Tasa de Dosis,
Servicio de Radioterapia, 2009



Fuente: Recorrido de observación, Servicio de Radioterapia, marzo, 2009.

**Descripción del Diagrama de Flujo del Proceso de Trabajo
Sala de Tratamiento de Braquiterapia Alta Tasa de Dosis
Servicio de Radioterapia, 2009**

Fases o Etapas del Proceso de Trabajo	¿Qué se hace?	¿Con qué se hace?	¿Cómo se hace?
Recepción	<p>Se identifica al paciente y se verifica el tratamiento que recibirá.</p> <p>En caso de tratarse de pacientes con diagnóstico de cáncer cérvico-uterino, se revisan dispositivos. Se prepara a la paciente para que reciba el tratamiento.</p>	<p>Visualmente para revisar carnet de control de radioterapia, expediente del paciente y la hoja de tratamiento.</p> <p>Se realizan los procedimientos de forma manual. Camilla, microseletrón.</p>	<p>El médico y los físicos médicos reciben las hojas de tratamiento, el carnet de control de radioterapia y los expedientes de los pacientes que se atenderán. Corroboran la identidad, el tratamiento y las indicaciones del paciente que se encuentran en los documentos antes señalados.</p> <p>En el caso de las pacientes que son tratadas de cáncer cérvico-uterino, el médico revisa los dispositivos que se le colocaron en el quirófano y pasa a la paciente hacia la sala de tratamiento. Enseguida, coloca la camilla frente al microseletrón. En el caso de pacientes con diferente diagnóstico, son llevados por el médico directamente a la mesa de tratamiento, donde verifica que el paciente esté en una posición adecuada.</p>
Conexión y carga automática de fuentes	Se aplica el tratamiento.	<p>Se realiza de manera manual y de manera automática. Equipo para aplicar el tratamiento a la paciente que consiste en microseletrón, monitor de circuito cerrado de televisión, consola de mando o panel de control.</p>	<p>El personal de físicos pasa los datos de la tarjeta y hoja de tratamiento al sistema. El médico inserta la fuente a los canales de los dispositivos, posteriormente sale de la sala de tratamiento y cierra las puertas blindadas para dirigirse a realizar la nota médica del paciente que recibe tratamiento. Se activan los sistemas de seguridad y protección radiológica. El personal médico y físico mantiene vigilancia del paciente a través del sistema de circuito cerrado. Se aplica el tratamiento.</p>

Continúa a la vuelta.

**Descripción del Diagrama de Flujo del Proceso de Trabajo
Sala de Tratamiento de Braquiterapia Alta Tasa de Dosis
Servicio de Radioterapia, 2009**

Fases o Etapas del Proceso de Trabajo	¿Qué se hace?	¿Con qué se hace?	¿Cómo se hace?
Retorno automático de fuentes y desconexión	Se concluye aplicación.	Se realiza de manera manual y se emplea inspección visual. Microselección. Equipo detector de radiación tipo Geiger Müller.	El médico entra a la sala de tratamiento, realiza medición de la radiación y desconecta los dispositivos de la fuente del microselección. El médico retira a la paciente de la sala de tratamiento.
Egreso	Finaliza procedimiento y se dan indicaciones.	Carnet de control de radioterapia. Indicaciones de manera verbal.	Se entrega el carnet al paciente y se dan indicaciones médicas.

Fuente: Recorrido de observación, Servicio de Radioterapia. Marzo, 2009.

**Cuadro de Resumen del Diagrama Complejo de Salud en el Trabajo
Sala de Tratamiento de Braquiterapia Alta Tasa de Dosis
Servicio de Radioterapia, 2009**

Fases o Etapas del Proceso de Trabajo	Riesgos o Exigencias	Probables Daños a la Salud	Nº de Trabajadores Expuestos	Medidas Preventivas Actuales	Propuesta de Acciones Preventivas
Recepción	IV. Falta de control del proceso de trabajo.	Estrés, dolor de cabeza, gastritis, colitis.	5	Ninguna.	Establecer normas y procedimientos para tener de manera oportuna y eficiente las hojas de tratamiento con las cuales se inicia la terapia; para evitar acumulación de trabajo, además de la espera y molestia de los pacientes.
Conexión y carga automática de fuentes	I. Radiación ionizante.	Diversos de acuerdo al tiempo y grado de exposición, efectos inmediatos: puede presentarse eritema de la piel, malformaciones congénitas, esterilidad, caída del cabello, cataratas, hemorragia, muerte. Efectos tardíos: cánceres (leucemia, cáncer de pulmón), abortos, malformaciones congénitas.	5	Mecanismos de seguridad radiológica.	Continuar con el empleo de los mecanismos de seguridad radiológica.
	II. Biológicos.	Riesgo de infecciones al manipular sondas o dispositivos.		Ninguna.	Empleo de guantes quirúrgicos. Lavado y lubricación frecuente de manos.
	III. Actividad física intensa.	Lumbalgia, dolor de hombros.		Ninguna.	Practicar las técnicas de mecánica corporal al empujar la puerta plomada para cerrarla. Estudio ergonómico para facilitar el cierre de las puertas por el personal de operarios (sistemas con mecanismos manuales o automatizados).

Continúa a la vuelta.

**Cuadro de Resumen del Diagrama Complejo de Salud en el Trabajo
Sala de Tratamiento de Braquiterapia Alta Tasa de Dosis
Servicio de Radioterapia, 2009**

Fases o Etapas del Proceso de Trabajo	Riesgos o Exigencias	Probables Daños a la Salud	N° de Trabajadores Expuestos	Medidas Preventivas Actuales	Propuesta de Acciones Preventivas
Conexión y carga automática de fuentes	III. Posiciones incómodas.	Dolor e insuficiencia venosa de miembros inferiores. Dolor en espalda, hombros y cuello.	5	Cambios de posición frecuentes. Ninguna.	Tapetes antifatiga para el personal que permanecce el mayor tiempo de pie. Empleo de sillas ergonómicas con respaldo y apoyo lumbar.
Retorno automático de fuentes y desconexión	I. Radiación ionizante. II. Biológicos.	Diversos de acuerdo al tiempo y grado de exposición. Riesgo de infecciones al manipular sondas o dispositivos.	5	Monitorización con detector Geiger Muller. Empleo de mecanismos de seguridad radiológica. Dosímetros personales. Ninguna.	Continuar con el uso de los mecanismos de seguridad radiológica. Etiquetar equipo detector de radiación con fecha y factores de calibración para cada escala. Empleo de guantes quirúrgicos. Lavado y lubricación frecuente de manos.
Egreso	Ninguno.	Ninguno.	5	Ninguna.	Ninguna.

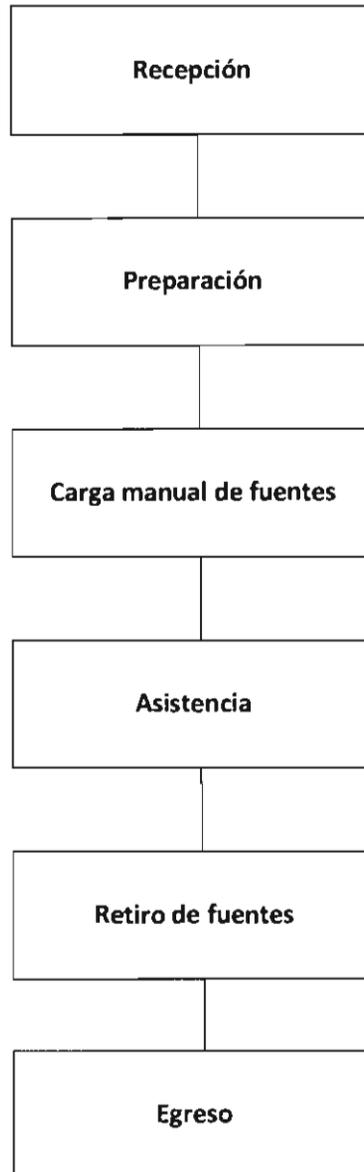
Fuente: Recorrido de observación, Servicio de Radioterapia. Marzo de 2009.

Sala de tratamiento de Braquiterapia baja tasa de dosis. Previamente la enfermera prepara físicamente la unidad de hospitalización para recibir a las pacientes. Aquí la paciente ingresa para permanecer hospitalizada durante un lapso generalmente de tres días. El personal de enfermería identifica a la paciente y revisa que haya cumplido con las indicaciones médicas; prepara a la paciente y la camilla en que la trasladará al área de quirófano para que le sean colocados los dispositivos uterinos, los cuales servirán para la posterior inserción de fuentes radiológicas.

Después de que el personal médico corrobora radiológicamente la ubicación de los dispositivos, la paciente es llevada nuevamente al área de hospitalización, en donde el personal de enfermería prepara parte del equipo para la conexión; coloca adecuadamente las mamparas emplomadas, retira tapones vaginales a la paciente y apoya al personal médico y de física médica quienes colocarán a la paciente una carga de ^{137}Cs , la cual permanecerá en cavidad los tres días que permanezca hospitalizada. A continuación, el personal de física médica entra al almacén donde están almacenadas las fuentes, las prepara y coloca en un contenedor. El médico, con apoyo del físico médico inserta en la cavidad ginecológica las cargas radiactivas.

Durante los tres días de hospitalización, la paciente debe permanecer en reposo absoluto, por lo cual sus movimientos se reducen al mínimo indispensable, motivo por el que tiene que ser asistida por el personal de enfermería para apoyarla en sus necesidades y realizar diversos procedimientos; cabe mencionar que mientras la paciente permanece en esta sala, se mantiene en observación a través de un sistema de circuito cerrado de televisión. Finalmente, al tercer día, nuevamente el personal médico y de física médica le retirará, los dispositivos y se dará de alta a la paciente, previas indicaciones médicas.

Diagrama de Flujo del Proceso de Trabajo
Sala de Tratamiento de Braquiterapia Baja Tasa de Dosis,
Servicio de Radioterapia, 2009



Fuente: Recorrido de observación, Servicio de Radioterapia. Marzo, 2009.

**Descripción del Diagrama de Flujo del Proceso de Trabajo
Sala de Tratamiento de Braquiterapia Baja Tasa de Dosis
Servicio de Radioterapia, 2009**

Fases o Etapas del Proceso de Trabajo	¿Qué se hace?	¿Con qué se hace?	¿Cómo se hace?
Recepción	<p>Se prepara físicamente la unidad de hospitalización para recibir a las pacientes.</p> <p>Se identifica y recibe a la paciente.</p>	<p>Se realiza de manera manual, utilizando bata, guantes, gorro quirúrgico (para la protección del personal de enfermería).</p> <p>Observación. Expediente. Hoja de tratamiento para pacientes.</p>	<p>La enfermera se protege con bata, guantes y gorro; retira la bata y ropa de cama sucia que han ocupado otras enfermas. Realiza tendido de cama con ropa limpia y prepara la unidad para recibir a nuevos ingresos (pacientes).</p> <p>La enfermera sube a consulta externa por la paciente. En la sala, verifica si la paciente cumplió con todas las recomendaciones para braquiterapia; le da indicaciones y aclara dudas del paciente; le retira maquillaje y esmalte de uñas cuando es necesario.</p>
Preparación	Se realizan los preparativos para trasladar a la paciente a quirófano.	<p>Se realiza de manera manual y empleando la inspección.</p> <p>Camilla. Expediente. Hoja de tratamiento.</p>	La enfermera prepara la camilla para trasladar a la paciente, verifica la preparación física de la paciente, fija parche para la instalación de sonda vesical y coloca vendaje en miembros inferiores. Posteriormente traslada y entrega a la paciente al quirófano en la camilla.
Carga manual de fuentes	Se recibe de quirófano a la paciente y se prepara para que le sean colocadas las cargas radiactivas.	<p>Se realiza de manera mecánica y empleando la observación.</p> <p>Expediente, termómetro, estetoscopio y esfigmomanómetro para verificar signos vitales.</p> <p>Mamparas emplomadas para protección del Personal Ocupacionalmente Expuesto (POE) contra radiación emitida por las cargas que se instalarán a las pacientes.</p> <p>Pinzas largas, fuente de Cesio 137, contenedor.</p>	<p>La enfermera recibe e identifica a la paciente, registra signos vitales, revisa indicaciones médicas en el expediente, coloca las mamparas blindadas, da posición adecuada a la sonda vesical y bolsa recolectora de orina, prepara equipo para la conexión y retira tapones vaginales de los dispositivos.</p> <p>El físico médico entra al almacén donde están concentradas las fuentes, las prepara y coloca en el contenedor empleando principalmente las pinzas largas para manipular la carga que aplicarán; posteriormente en la sala de hospitalización, el médico con apoyo del físico médico, instalan las cargas radiactivas.</p>

Continúa a la vuelta.

**Descripción del Diagrama de Flujo del Proceso de Trabajo
Sala de Tratamiento de Braquiterapia Baja Tasa de Dosis
Servicio de Radioterapia, 2009.**

Fases o Etapas del Proceso de Trabajo	¿Qué se hace?	¿Con qué se hace?	¿Cómo se hace?
Asistencia	Se brindan cuidados generales a la paciente hospitalizada.	Se realiza de manera manual. Expediente. Mamparas emplomadas. Estetoscopio, esfignomanómetro. Medicamento (Clexane, anticoagulante de aplicación subcutánea), jeringa, cómodo.	La enfermera establece vigilancia y monitoreo de signos vitales, brinda cuidados a la sonda vesical, aplica medicamento vía subcutánea y brinda cuidados generales.
Retiro de fuentes	Se retira sonda y dispositivos uterinos.	Se realiza de manera manual. Mamparas emplomadas. Equipo para retirar suturas y dispositivos. Equipo para retirar la sonda vesical.	El médico retira empaquetamiento, retira los tapones de los dispositivos y la sonda vesical. El personal de física médica retira las fuentes y las deposita en el contenedor y almacén correspondiente.
Egreso	Se prepara a la paciente para su egreso hospitalario.	Se realiza de manera manual. Mamparas emplomadas, en caso de que se encuentren en la sala otras pacientes con cargas radiactivas. Hoja de egreso hospitalario.	Se asiste a la paciente que ha permanecido en reposo absoluto. Se dan indicaciones de su cuidado domiciliario y próxima consulta.

Fuente: Recorrido de observación, Servicio de Radioterapia. Marzo de 2009.

**Cuadro de Resumen del Diagrama Complejo de Salud en el Trabajo
Sala de Tratamiento de Braquiterapia Baja Tasa de Dosis
Servicio de Radioterapia, 2009.**

Fases o Etapas del Proceso de Trabajo	Riesgos o Exigencias	Probables Daños a la Salud	Nº de Trabajadores Expuestos	Medidas Preventivas Actuales	Propuesta de Acciones Preventivas
Recepción	IV. Elevado ritmo de trabajo.	Dolor de cabeza.	1	Ninguna	Apoyo de enfermería en los períodos de tiempo en los cuales existe mayor carga de trabajo en este servicio.
Preparación	IV. Elevado ritmo de trabajo.	Cuando existe carga de trabajo cefalea (dolor de cabeza), colitis, gastritis.	1	Ninguna	Apoyo de enfermería en los períodos de tiempo en los cuales existe mayor carga de trabajo en este servicio.
Carga manual de fuentes	I. Radiaciones.	Diversos de acuerdo al tiempo y grado de exposición, efectos inmediatos: puede presentarse eritema de la piel, malformaciones congénitas. esterilidad, caída del cabello, cataratas. hemorragias, muerte. Efectos tardíos: cáncer (leucemia, cáncer de pulmón), abortos, malformaciones congénitas.	2	Empleo de equipo de seguridad y protección radiológica (mamparas emplomadas, vidrio emplomado, pinzas largas, tiempo).	Reemplazo de mamparas actuales por otras con características ergonómicas adecuadas, que faciliten la realización de procedimientos en la atención médica de la paciente.
	II. Biológicos.	Infecciones.	3	Empleo de bata, guantes, cubreboca, gorro.	Lavado estricto y lubricación frecuente de manos.

Continúa a la vuelta

**Cuadro de Resumen del Diagrama Complejo de Salud en el Trabajo
Sala de Tratamiento de Braquiterapia Baja Tasa de Dosis
Servicio de Radioterapia, 2009.**

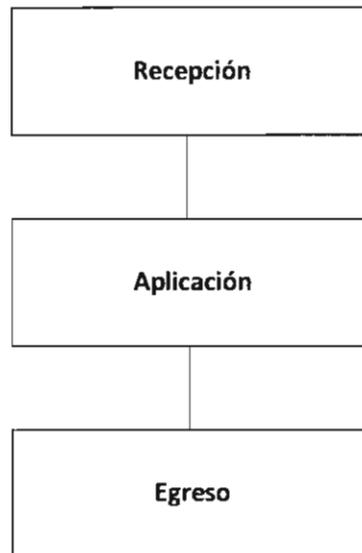
Fases o Etapas del Proceso de Trabajo	Riesgos o Exigencias	Probables Daños a la Salud	Nº de Trabajadores Expuestos	Medidas Preventivas Actuales	Propuesta de Acciones Preventivas
Asistencia	I. Radiaciones. III. Posiciones incómodas. II. Biológicos.	Diversos de acuerdo al tiempo y grado de exposición. Dolor en espalda, hombros y cuello. Infecciones.	3	Empleo de equipo de seguridad y protección radiológica: mamparas emplomadas. Ninguna. Empleo de bata, guantes, cubreboca, gorro.	Reemplazo de mamparas actuales por otras con características ergonómicas adecuadas, que faciliten la realización de procedimientos en la atención médica de la paciente. Lavado estricto y lubricación frecuente de manos.
Retiro de fuentes	I. Radiaciones.	Diversos de acuerdo al tiempo y grado de exposición.	2	Empleo de equipo de seguridad y protección radiológica: mamparas emplomadas.	Reemplazo de mamparas actuales por otras con características ergonómicas adecuadas, que faciliten la realización de procedimientos en la atención médica de la paciente.
Egreso.	Ninguno.	Ninguno.	-	Ninguna.	Ninguna.

Fuente: Recorrido de observación, Servicio de Radioterapia. Marzo de 2009.

Sala de tratamiento de Telecobalto.

En esta sala de tratamiento se inicia el proceso con la identificación del paciente y el ingreso de los datos al sistema del equipo; posteriormente, el personal técnico coloca al paciente en la mesa de tratamiento y lo prepara físicamente para recibir la terapia; se colocan las charolas y los dispositivos que permitirán homogeneizar la dosis y delimitar el área a tratar. Acto seguido, el personal técnico sale de la sala para dar inicio al tratamiento. Durante la estancia del paciente en esta sala, permanece en observación a través de un sistema de circuito cerrado de televisión y audio para darle indicaciones al paciente, estar atentos a sus necesidades y atender cualquier eventualidad que se pueda presentar. Finalmente se entrega la tarjeta de control de radioterapia al paciente, se le dan las indicaciones para su próxima terapia y concluye el procedimiento.

Diagrama de Flujo del Proceso de Trabajo
Salas de Tratamiento de Telecobalto
Servicio de Radioterapia, 2009



Fuente: Recorrido de observación, Servicio de Radioterapia. Marzo, 2009.

**Descripción del Diagrama de Flujo del Proceso de Trabajo
Salas de Tratamiento de Telecobalto
Servicio de Radioterapia, 2009.**

Fases o Etapas del Proceso de Trabajo	¿Qué se hace?	¿Con qué se hace?	¿Cómo se hace?
Recepción	Se identifica al paciente y se verifica el tratamiento que recibirá. Se prepara al paciente para que reciba el tratamiento.	Se realiza por medio de la observación Tarjeta de control de radioterapia. Hoja de planeación. De manera manual. Mesa de tratamiento del equipo de cobaltoterapia en donde se aplicará el tratamiento.	Se corrobora la identidad y tratamiento de la paciente indicados en la hoja de tratamiento. El personal técnico revisa los dispositivos del equipo. Posteriormente pasan a la paciente a la sala y la colocan sobre la mesa de tratamiento del equipo de cobaltoterapia.
Aplicación	Se aplica el tratamiento.	Cuñas, protecciones de plomo para proteger y evitar dañar tejidos sanos. Equipo de cobaltoterapia para aplicar el tratamiento.	El personal técnico coloca las protecciones (cuñas o protecciones de plomo) sobre la charola o bandeja para delimitar el área a radiar. El personal técnico cierra manualmente las puertas blindadas (Elite o Phoenix). Introducen al sistema los datos del tratamiento de la paciente de acuerdo a la hoja de planeación. Aplican el tratamiento y mantienen vigilancia de la paciente a través del sistema de circuito cerrado.
Egreso	Finaliza el tratamiento.	Tarjeta de control de radioterapia.	Se entrega la tarjeta de control de radioterapia al paciente, se ratifican las recomendaciones para su tratamiento.

Fuente: Recorrido de observación, Servicio de Radioterapia. Marzo de 2009.

**Cuadro de Resumen del Diagrama Complejo de Salud en el Trabajo
Salas de Tratamiento de Telecobalto
Servicio de Radioterapia, 2009**

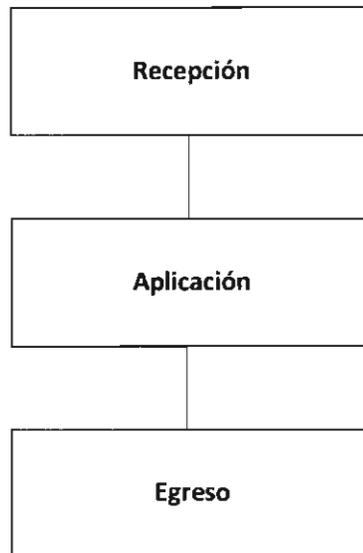
Fases o Etapas del Proceso de Trabajo	Riesgos o Exigencias	Probables Daños a la Salud	Nº de Trabajadores Expuestos	Medidas Preventivas Actuales	Propuesta de Acciones Preventivas
Recepción	IV. Falta de control del proceso de trabajo.	Dolor de cabeza. Gastritis. Colitis.	6	Ninguna	Establecer procedimientos administrativos para que el personal médico y técnico dispongan oportunamente de las hojas de tratamiento de cada paciente.
	III. Esfuerzo físico intenso.	Dolor en hombros. Lumbalgia.		Ninguna	Dar entrenamiento al personal respecto a la adopción de técnicas para el manejo adecuado de la mecánica corporal, sobre todo al manipular objetos pesados como son las cuñas y las protecciones de plomo. Estudio ergonómico para facilitar el cierre de las puertas por el personal de operarios (sistemas con mecanismos manuales o automatizados).
Aplicación	I. Radiación.	Diversos de acuerdo al tiempo y grado de exposición.	6	Detectores de radiación. Mecanismos de paro automático.	Implementar el programa de entrenamiento en simulacros de emergencia radiológica. Llevar un estricto programa de mantenimiento preventivo de los equipos de cobaltoterapia.
Término.	Ninguna.	Ninguna.	Ninguno.	Ninguna.	Ninguna.

Fuente: Recorrido de observación, Servicio de Radioterapia, D.F., marzo de 2009.

Sala de tratamiento del acelerador lineal.

Por lo que respecta a la sala de tratamiento del acelerador lineal (Equipos Varian y Elekta), el procedimiento inicia con la identificación del paciente, la verificación del número y el plan de tratamiento entre otros aspectos. Posteriormente el personal de física médica o el personal técnico ingresa los datos al sistema de cómputo del equipo y conducen a la mesa de tratamiento al paciente, lo ayudan a adoptar una posición adecuada y lo preparan para recibir la terapia; enseguida, el personal técnico sale de la sala para dar inicio al tratamiento. De igual forma, durante la estancia del paciente en esta sala, éste permanece en observación a través de un sistema de circuito cerrado de televisión y audio para darle indicaciones y estar atentos a sus necesidades y atender cualquier eventualidad que se pueda presentar. Finalmente se dan indicaciones al paciente para su próxima terapia y concluye el procedimiento.

Diagrama de Flujo del Proceso de Trabajo
Salas de Tratamiento de Acelerador Lineal
Servicio de Radioterapia, 2009



Fuente: Recorrido de observación, Servicio de Radioterapia. Marzo, 2009.

**Descripción del Diagrama de Flujo del Proceso de Trabajo,
Salas de Tratamiento de Acelerador Lineal
Servicio de Radioterapia, 2009.**

Fases o Etapas del Proceso de Trabajo	¿Qué se hace?	¿Con qué se hace?	¿Cómo se hace?
Recepción	<p>Se identifica al paciente y los datos de la hoja de tratamiento.</p> <p>Se prepara al paciente para que se le realice el procedimiento respectivo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Marcaje ó - Aplicación de tratamiento. 	<p>Se realiza a través de la observación. Tarjeta de control de radioterapia. Hoja de planeación.</p> <p>Mesa de tratamiento del equipo del acelerador lineal.</p>	<p>El personal técnico corrobora la identidad y el tratamiento de la paciente, indicados en la hoja de tratamiento.</p> <p>Se coloca al paciente en la mesa de tratamiento del equipo del acelerador lineal y colocan accesorios para delimitar el área a radiar.</p>
Aplicación	Se aplica el tratamiento.	<p>Se realiza de manera automatizada y se utiliza el equipo de Acelerador lineal (Varian o Elekta).</p> <p>Aguja hipodérmica y tinta china para realizar el marcaje.</p>	<p>El personal técnico terapeuta cierra manualmente las puertas blindadas. Ingresan los datos contenidos en la hoja de tratamiento de la paciente al sistema. De acuerdo a las indicaciones se realiza marcaje (tatuaje) para delimitar el área a irradiar, definir campos y protecciones, empleando la aguja hipodérmica y la tinta china o bien, Se aplica el tratamiento de radioterapia indicado.</p>
Término	Finaliza el tratamiento.	Tarjeta de control de radioterapia.	Se entrega la tarjeta de control de radioterapia al paciente, se ratifican las recomendaciones para su tratamiento.

Fuente: Recorrido de observación, Servicio de Radioterapia. Marzo de 2009.

Sala de simulación tomográfica.

En la simulación virtual y planificación de un tratamiento del cáncer con radioterapia, son imprescindibles el uso de imágenes en tres dimensiones que se obtienen de la TAC; y por lo tanto, la mayoría de ocasiones es necesario aplicar a los pacientes medio de contraste.

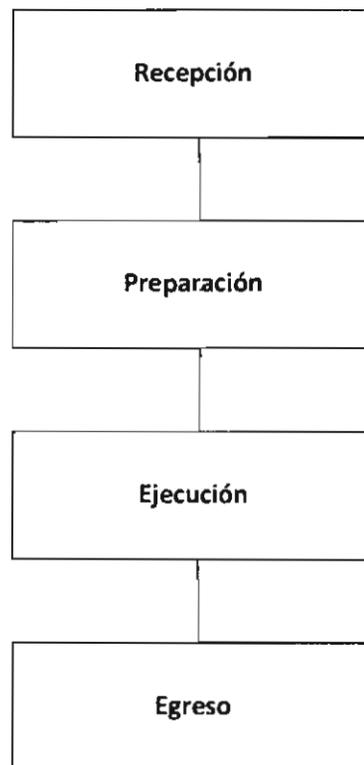
En esta sala de simulación tomográfica, el procedimiento inicia con la identificación del paciente y el ingreso de los datos al sistema de cada equipo; posteriormente, la enfermera o el personal técnico le pide al paciente que se coloque una bata de algodón en el baño y se le conduce a la mesa de tratamiento donde se hace uso de los dispositivos de sujeción para restringir sus movimientos y obtener mayor precisión durante el procedimiento.

En esta sala de tratamiento, uno de los inmovilizadores más empleados es la máscara termoplástica, la cual para ser utilizada requiere que el personal técnico introduzca en agua caliente una hoja de termoplástico, la extraiga del agua y coloque sobre la cara de la paciente para moldearla; enseguida fija la máscara o algún otro medio de sujeción al soporte. Posteriormente, el personal técnico realiza el marcaje; para ello utiliza una aguja hipodérmica desechable, la cual entinta para realizar el tatuaje en el paciente.

El personal técnico realiza la captura de imágenes en la terminal del equipo y delimita los sitios de radiación en coordinación con el personal físico y médico. En algunos casos, se requiere aplicar medio de contraste al paciente, ya sea por vía oral o intravenosa: en caso de que se aplique por vía intravenosa, es necesario que la enfermera instale una venoclisis y proceda a aplicar el medio de contraste.

Durante la realización de los diferentes procedimientos, el personal médico, de física médica, técnicos y enfermeras vigilan el procedimiento y al paciente a través del vidrio emplomado de esta sala y están alertas para atender cualquier contingencia de manera inmediata. El procedimiento finaliza y se le entrega al paciente la hoja de control de radioterapia y su carnet, ratificando las recomendaciones para darle continuidad a su tratamiento.

Diagrama de Flujo del Proceso de Trabajo
Sala de Simulación Tomográfica,
Servicio de Radioterapia, 2009



Fuente: Recorrido de observación, Servicio de Radioterapia. Marzo, 2009.

**Descripción del Diagrama de Flujo del Proceso de Trabajo,
Sala de Simulación Tomográfica
Servicio de Radioterapia, 2009**

Fases o Etapas del Proceso de Trabajo	¿Qué se hace?	¿Con qué se hace?	¿Cómo se hace?
Recepción	Se identifica al paciente.	Se realiza a través de la observación. carnet de citas. Tarjeta de control de radioterapia. Hoja de simulación o control de tratamiento.	Se corrobora la identidad y el tratamiento de la paciente indicados en la hoja de tratamiento.
Preparación Simulación	Se prepara a la paciente físicamente, para que se realice la simulación tomográfica.	Bata de algodón para el paciente. En los casos que se indique, equipo para aplicar venoclisis, medio de contraste, o jugo con medio de contraste para ser ingerido vía oral. Hojas de termoplástico para moldear la máscara manualmente.	La paciente pasa al baño y se coloca una bata de tela de algodón. La enfermera punciona una vena y conecta el equipo de venoclisis para posteriormente pasar medio de contraste por esa vía. En caso de que los órganos afectados sean del aparato digestivo, la administración del medio de contraste será vía oral. El técnico radioterapeuta introduce en agua caliente (72°C) la hoja de termoplástico y posteriormente la extrae con ayuda de algún objeto; se traslada a la mesa de tratamiento donde se encuentra la paciente; coloca el termoplástico sobre la cara y región frontal y temporal de la paciente y moldea la máscara termoplástica; enseguida fija la máscara al soporte.
Marcaje	Se prepara físicamente a la paciente y el material para la realización del tatuaje.	Se realiza a través de la observación y de manera manual; aguja hipodérmica, tinta china, microporo o tela adhesiva.	El técnico radioterapeuta prepara el material a utilizar, delimita los sitios de marcaje con láser, realiza las punciones para delimitar los sitios de radiación en coordinación con el personal físico y médico.

A la vuelta

**Descripción del Diagrama de Flujo del Proceso de Trabajo,
Sala de Simulación Tomográfica
Servicio de Radioterapia, 2009**

Fases o Etapas del Proceso de Trabajo	¿Qué se hace?	¿Con qué se hace?	¿Cómo se hace?
Ejecución	Se obtienen imágenes axiales del cuerpo, dependiendo la zona afectada.	<p>En los casos que se requiera, el medio de contraste se aplica por vía intravenosa a través de un equipo de venoclisis. Por vía oral se utiliza la preparación del medio de contraste contenida en un vaso.</p> <p>Aparato para TAC. Panel de control.</p>	<p>El técnico radioterapeuta introduce al sistema los datos del tratamiento de la paciente de acuerdo a la hoja de planeación.</p> <p>La enfermera administra el tratamiento intravenoso. En caso de administrarse vía oral, el paciente ingerirá el medio de contraste siguiendo las indicaciones del técnico radioterapeuta.</p> <p>El personal médico, físico, técnico y de enfermería mantiene vigilancia del estado del paciente y de la realización de los diferentes procedimientos a través del vidrio plomado.</p> <p>El personal técnico realiza la captura de imágenes en la terminal del equipo.</p>
Egreso	Finaliza el procedimiento.	<p>Carnet de citas. Tarjeta de control de radioterapia.</p>	Se entrega la tarjeta de control de radioterapia al paciente, el carnet de citas y se ratifican las recomendaciones para su tratamiento.

Fuente: Recorrido de observación, Servicio de Radioterapia. Marzo de 2009.

Cuadro de Resumen del Diagrama Complejo de Salud en el Trabajo
Sala de Simulación Tomográfica
Servicio de Radioterapia, 2009

Fases o Etapas del Proceso de Trabajo	Riesgos o Exigencias	Probables Daños a la Salud	Nº de Trabajadores Expuestos	Medidas Preventivas Actuales	Propuesta de Acciones Preventivas
Recepción	IV. Falta de control del proceso de trabajo.	Cefalea. Gastritis. Colitis.	5	Ninguna.	Establecer normas y procedimientos para tener de manera oportuna y eficiente las hojas de tratamiento con las cuales se da inicio a los tratamientos de los pacientes, evitando con ello acumulación de trabajo, además de la espera y molestia de los pacientes.
Preparación Simulación Tomografía	V. Herramienta. II. Biológico.	Traumatismo por punción. Enfermedades infecto-contagiosas.	1	Cuidados generales de enfermería.	Informar al personal antes de iniciar algún procedimiento, cuando el paciente padezca alguna enfermedad infecto-contagiosa.
Marcaje	V. Herramienta. II. Biológico.	Traumatismo por punción. Enfermedades infecto-contagiosas.		Cuidados generales de enfermería.	Informar al personal antes de iniciar algún procedimiento, cuando el paciente padezca alguna enfermedad infecto-contagiosa. Lavado inmediato con agua y jabón.

Continúa a la vuelta.

**Cuadro de Resumen del Diagrama Complejo de Salud en el Trabajo
Sala de Tratamiento de Simulación Tomográfica
Servicio de Radioterapia, 2009**

Fases o Etapas del Proceso de Trabajo	Riesgos o Exigencias	Probables Daños a la Salud	N° de Trabajadores Expuestos	Medidas Preventivas Actuales	Propuesta de Acciones Preventivas
Ejecución	II. Químico.	En la piel y de acuerdo a la susceptibilidad de cada persona (POE) al medio de contraste, puede presentarse erupción cutánea, urticaria, prurito, edema. En los ojos se puede ocasionar irritación y quemaduras.	1	Ninguna.	Protección con guantes y gafas protectoras al aplicar el medio de contraste. Lavado inmediato con agua y jabón. Lubricación adecuada de manos.
	II. Biológico.	Enfermedades infecto-contagiosas.		Cuidados generales de enfermería.	Informar al personal antes de iniciar algún procedimiento, cuando el paciente padezca alguna enfermedad infecto-contagiosa. Lavado inmediato con agua y jabón.
	I. Radiación	Diversos de acuerdo al tiempo y grado de exposición: Efectos inmediatos y efectos tardíos.	9	Detectores de radiación Mecanismos de paro automático	Llevar un estricto programa de mantenimiento preventivo de los dispositivos de seguridad radiológica y de los equipos de tomografía.
Egreso	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguna	Ninguna

Fuente: Recorrido de observación, Servicio de Radioterapia. Marzo de 2009.

A continuación se enumeran los principales riesgos y exigencias derivados del proceso de trabajo en las salas de tratamiento:

En la sala de tratamiento de braquiterapia alta tasa de dosis una de las exigencias laborales se deriva de la organización y división de trabajo, ya que generalmente, las hojas de planeación de tratamiento de los pacientes no las tienen a tiempo (08:00 de la mañana). Cabe señalar que esta hoja, es indispensable para iniciar la atención de los pacientes. Esta deficiencia en el proceso, podría generar en el personal y en los paciente estrés, dolor de cabeza, gastritis, y colitis. También durante la conexión, al manipular sondas o dispositivos uterinos de la paciente al microselectrón, puede existir, aunque parezca remoto, riesgo de contacto con bacterias, hongos e inclusive virus. Las posturas incómodas de pie podrían traer como consecuencia dolor e insuficiencia venosa de miembros inferiores y aunque el personal no se quejaba de tener alguna molestia por permanecer sentados sin respaldo frente a la consola de mando, esto podría ocasionar dolor en espalda, hombros y cuello.

En la sala de tratamiento de Braquiterapia, baja tasa de dosis, cuando existe carga de trabajo y por la diversidad de tareas que se realizan en periodos de tiempo relativamente cortos, el personal de enfermería refiere dolor de cabeza y estrés; puede existir también exposición a radiaciones, ya que aunque al personal le interesa su protección y trata de limitar los tiempos en que tiene que realizar algún procedimiento, además de la protección parcial que ofrecen las mamparas, es posible que la falta de protección y la exposición de cabeza, cuello y miembros superiores facilite la presencia de diversos daños a la salud de acuerdo al tiempo de exposición y la radiación recibida; los que pueden ser desde eritema de la piel, hasta otros efectos más graves como caída del cabello, cataratas, abortos, malformaciones congénitas y cáncer, entre otros. También existe el riesgo potencial de adquirir infecciones, ya que el personal de enfermería realiza diversos procedimientos en donde pueden tener contacto con secreciones y excreciones cuando manipula cómodos, sondas o dispositivos durante la asistencia de las pacientes.

En la salas de tratamiento de telecobalto (Phoenix y Elite), se puede generar estrés, dolor de cabeza y colitis o gastritis por el retraso que origina el no contar oportunamente con las hojas de planeación o cuando el equipo no funciona de manera óptima ya que se provoca la

acumulación de los pacientes, la espera prolongada en el inicio de su tratamiento y reprogramaciones frecuentes de los mismos. En esta sala, el personal realiza esfuerzo físico al utilizar la puerta empujada que da acceso al área donde se lleva a cabo la aplicación de la terapia, por lo que refieren que frecuentemente sufren de dolor en la espalda, hombros y brazos, sobre todo el personal femenino, ya que aunque la puerta sea corrediza, pesa aproximadamente media tonelada y necesariamente se requiere de mucha fuerza para poderla desplazar.

En lo que se refiere a la sala de tratamiento de simulación tomográfica, al igual que en otras salas de tratamiento, se puede facilitar la presencia de estrés por la acumulación de pacientes y la espera porque no les entregan a tiempo las planeaciones o cuando el equipo no funciona de manera óptima. Para moldear la máscara termoplástica que se empleará para inmovilizar al paciente, el personal técnico radioterapeuta introduce en agua caliente (72°C) la hoja de termoplástico y la extrae del agua caliente con cualquier objeto que se encuentre a la mano, esto puede ocasionar en el POE quemaduras serias por no contar con dispositivos adecuados para extraer dicho material. Aquí es importante señalar que después de que la hoja de termoplástico es extraída del agua caliente, se enfría ligeramente antes de ser colocada en la cara de la paciente, lo que evita el riesgo de ocasionar quemaduras en el paciente.

Cuando el personal de enfermería instala una venoclisis a un paciente, puede existir el riesgo de que se generen heridas por punción y se facilite el contagio de infecciones; además del riesgo de contacto con el medio de contraste cuando éste se derrama, por lo que se podría presentar en el personal que ejecuta estos procedimientos erupción cutánea, urticaria, prurito, edema en la piel, de acuerdo a la susceptibilidad de cada persona, y si existe contacto con los ojos se puede ocasionar irritación y quemaduras.

6.3 Cuestionario de Verificación.

En esta parte, se describen los resultados obtenidos después de haber realizado la verificación del servicio de radioterapia, en donde se utilizó la observación directa para evaluar las condiciones físicas de seguridad, higiene y protección radiológica en las salas de

tratamiento, área de recepción de pacientes, pasillos, vestidores y áreas de almacenamiento de desechos en general.

Otro aspecto importante que se revisó con ayuda del personal responsable de física médica, fueron los archivos de la documentación, que permitió contestar las preguntas contenidas en los capítulos correspondientes: II. Reglamento General de Seguridad Radiológica y III. Condiciones de Seguridad e Higiene. Cabe señalar que también fue de gran ayuda la información que proporcionó el POE para completar los datos contenidos en el instrumento de evaluación.

Como ya se señaló, la *sección número cinco* del capítulo I, que corresponde al *Manejo, transporte y almacenamiento de materiales*, se calificó como *no aplica*, en virtud de que las preguntas consideradas originalmente en dicha sección se dirigen a evaluar otros sitios de trabajo con características diferentes a un servicio de radioterapia. Por lo que respecta a la *sección número cuatro* del capítulo III, titulada *Evaluación y control*; también se calificó como *no aplica*, ya que en el servicio de radioterapia donde se llevó a cabo el estudio no se trabaja con fuentes de radiación abiertas.

De esta manera, se presentan cuatro tablas que muestran los resultados por apartado o sección y el porcentaje de eficacia que corresponde a cada uno, así como los resultados totales.

Capítulo I. Evaluación Preliminar del Establecimiento.

Hoja de resultados
 Capítulo I. Evaluación Preliminar del Establecimiento según Apartados.
 Servicio de Radioterapia de un Hospital de Tercer Nivel
 2009

Apartados	Total esperado	Total Sí	% Sí	Total PM	% PM	Total NO	% NO	Índice Esperado	Índice real	% Eficacia	Nivel de Eficacia
1. Edificios, locales, instalaciones y áreas de radioterapia	6	4	66.7	1	16.7	1	16.7	12	9	75	M
2. Orden y limpieza.	8	4	50	2	25	2	25	16	10	62.5	M
3. Sistemas contra incendio.	8	3	37.5	0	0	5	62.5	16	6	37.5	N
4. Instalaciones eléctricas.	6	5	83.3	1	16.7	0	0	12	11	91.7	MB
5. Manejo, transporte y almacenamiento de materiales.	N O A P L I C A										
6. Señales, avisos de seguridad y código de colores.	7	5	71.4	2	28.6	0	0	14	12	85.7	B
7. Medio ambiente laboral.	6	5	83	1	16.7	0	0	12	11	91.7	MB
8. Herramientas, equipo y maquinaria.	4	4	100	0	0	0	0	8	8	100	MB
9. Equipo de protección personal (EPP).	9	4	44.4	4	44.4	1	11.11	18	12	66.7	M
10. Servicios para los trabajadores.	9	2	22.2	3	33.3	4	44.4	18	7	39	N
Total	63	36	57.1	14	22.2	13	20.6	126	86	68.3	M

Fuente: Fuente: Recorrido de observación, servicio de radioterapia. Marzo de 2009.
 Nivel de Eficacia: **MB** muy bueno, **B** bueno, **M** malo, **N** nulo.

En este capítulo, se observa que los mayores porcentajes de eficacia corresponde a herramientas, equipos y maquinaria con el 100% de eficacia; medio ambiente laboral e instalaciones eléctricas con un 91.7% de eficacia cada uno. Los apartados con niveles de eficacia más bajos lo tienen los servicios para los trabajadores con 39% y los sistemas contra incendio con 37.5%. En general, a este capítulo le corresponde un 68.3% de eficacia.

En cuanto a estos resultados, comenzaremos por mencionar que en lo que respecta a los edificios, locales, instalaciones y áreas de radioterapia, se detectó que en la planta baja de este servicio, los pisos se encuentran dañados en algunas de sus partes, ya que las losetas se encuentran rotas, por lo que no se cumplen las especificaciones señaladas en la NOM-STPS-001-2008 y en el Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo.

En cuanto a las rutas y salidas de emergencia, la puerta de salida de emergencia se encuentra cerrada con llave y solo tienen acceso a dicha llave el jefe de física médica y su ayudante, por lo que no se da cumplimiento a la NOM-002-STPS-2000 ni al Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo.

En la parte correspondiente al orden y la limpieza, se encontró que no se clasifica la basura según el tipo de desecho, ya que para depositar la basura se utilizan cajas de cartón y cubetas cubiertas de bolsas de plástico transparente, sin los letreros de clasificación respectivos; tampoco se tiene instalado y funcionando algún sistema contra plagas, por tal motivo se considera que no se da cumplimiento al Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo en estos aspectos.

Por lo que toca a los sistemas contra incendio, no se cuenta con lista de brigada de prevención y combate de incendios ni con las extensiones telefónicas del grupo de protección civil del Hospital; tampoco el equipo de protección respectivo está a la mano ni en buenas condiciones, ya que solo Protección civil del hospital cuenta con dicho equipo; se observa además que el servicio no tiene instalados ningún tipo de detectores de humo o de calor en toda el área de radioterapia, tampoco se dispone de un sistema de alarma luminosa o sonora para alertar sobre incendios. Otro aspecto importante es que no se observan señalamientos respecto a la identificación de los materiales e instalaciones que tienen riesgo de incendio; por lo que se infiere que las obligaciones a la NOM-002-STPS-2000 y al Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo no se cumplen como está estipulado.

Asimismo por lo que toca a las instalaciones eléctricas, los tableros de control cuentan con cerraduras, pero en caso de reparación, no son colocadas las etiquetas correspondientes

como se indica en la NOM-029-STPS-2005, así como en el Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo.

De igual modo, en el apartado correspondiente a equipo de protección personal, no existen señalamientos que indiquen el uso de equipo de protección personal básicos, en este caso de guantes desechables, como es la sala de tratamiento de baja tasa de dosis o en la sala de simulación tomográfica, en donde el empleo es limitado; por lo tanto se cumple de manera parcial con el Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo en este aspecto.

En el medio ambiente laboral, específicamente en la sala de tratamiento del acelerador lineal Varian, se requiere de aire acondicionado debido a especificaciones técnicas para el funcionamiento óptimo de dicho acelerador; por lo que el POE está expuesto a un ambiente frío, el cual resulta incómodo para los trabajadores que permanecen en esa sala de tratamiento durante siete a ocho horas diariamente; esto puede representar un riesgo para contraer enfermedades respiratorias.

Respecto a los servicios para los trabajadores, no se cuenta con bebederos para agua purificada, sólo se cuenta con un galón de agua en el área de enfermería que el mismo personal adquiere y otro en un área de descanso adaptada para el personal de técnicos en la planta baja de radioterapia. Tampoco se cuenta con regaderas en el área de vestidores de radioterapia; ni con un área adaptada específicamente para el descanso de los trabajadores. Se carece además de instalaciones deportivas y recreativas para el personal, no sólo en el área de radioterapia, sino en todo el hospital, como se especifica en el Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo.

Otro de los aspectos sumamente importantes que se debe considerar como parte de los apoyos con los que deben contar los trabajadores, y que se establecen en el mismo reglamento, es el servicio médico para el personal del servicio. En el hospital no existe un área específica para dar atención médica al personal que labora ahí, por lo que sólo en casos de extrema necesidad de asistencia médica, el personal acude al servicio de urgencias del hospital. Tampoco se dispone en este servicio de medicamentos, material de curación o personal de primeros auxilios; por ser personal de salud el que labora en este lugar de

trabajo, el personal médico y de enfermería apoya en estos aspectos a los compañeros que lo requieren, pero no por ello las áreas están adaptadas para tal efecto, ni mucho menos están dotados con los recursos materiales para llevar a cabo este tipo de asistencia.

Finalmente, los sitios de trabajo donde se manejan radiaciones ionizantes, pueden constituir también un riesgo importante para el personal de apoyo, administrativo, auxiliar y de limpieza que trabaja en estos servicios si no se les capacita adecuadamente para saber cómo actuar en caso de que se presente alguna emergencia radiológica.

Capítulo II. Reglamento General de Seguridad Radiológica

Hoja de resultados

Capítulo II. Reglamento General de Seguridad Radiológica, según apartados.
Servicio de Radioterapia de un Hospital de Tercer Nivel
2009

Apartados	Total esperado	Total Sí	% Sí	Total PM	% PM	Total NO	% NO	Índice Esperado	Índice real	% Eficacia	Nivel de Eficacia
1. Sistema de limitación de dosis.	10	10	100	0	0	0	0	20	20	100	MB
2. Fuentes de radiación ionizante.	32	29	90.6	0	0	3	9.4	64	58	90.6	B
3. Instalaciones radiactivas.	22	19	86.4	2	9.1	1	4.5	44	40	91	MB
4. Equipos	11	9	81.8	1	9.1	1	9.1	22	19	86.4	B
5. Permisionario, encargado de seguridad radiológica y POE.	56	48	85.7	6	10.7	2	3.6	112	102	91	MB
6. Aplicaciones médicas.	11	9	82	0	0	2	18	22	18	81.8	B
7. Accidentes radiológicos y medidas preventivas de seguridad.	14	13	93	1	7	0	0	28	27	93	MB
Total	156	137	87.8	10	6.4	9	5.8	312	284	91	MB

Fuente: Archivo del servicio de radioterapia. Marzo de 2009.

Nivel de Eficacia: **MB** muy bueno, **B** bueno, **M** malo, **N** nulo.

Este capítulo obtuvo en general un porcentaje de eficacia del 91%. Podemos observar entonces, que el mayor porcentaje de eficacia correspondió al apartado de sistema de limitación de dosis con el 100%; por su parte los apartados de equipos y aplicaciones médicas obtuvieron un 86.4% y un 81.8% respectivamente.

Por lo que respecta a este capítulo, en el apartado de fuentes de radiación ionizante para la operación de los aceleradores de partículas, no se contemplan los efectos de calentamiento del equipo, ni los posibles riesgos de fuego o explosión, por lo que no se da debido cumplimiento al artículo 97 del Reglamento General de Seguridad Radiológica.

De igual manera, aunque existen letreros con el símbolo que indica zona de radiación en las áreas radiactivas, no se observa que en los lugares de acceso estén especificados en algún letrero los tiempos máximos permitidos de permanencia.

Cabe señalar que las fuentes de radiación ionizante están calibradas por un proveedor de servicios autorizado por la CNSNS, pero, no se observó que alguno de los equipos se encuentre etiquetado con la fecha y los factores de calibración para cada escala o con las gráficas de calibración, como se especifica en el Reglamento General de Seguridad Radiológica y la NOM-229-SSA1-2002.

El permisionario y el encargado de seguridad radiológica cuentan con un plan de emergencia y un manual de seguridad radiológica, incluidos en el manual de procedimientos del servicio de radioterapia, pero estos no incluyen la actualización del personal que se encuentra adscrito a este servicio.

De igual manera, aunque cada año el POE participa en un curso de reentrenamiento, el programa de entrenamiento para casos de emergencia, no se aplica desde hace tres años. Este debería que comprender, tanto los accidentes radiológicos potenciales durante operaciones rutinarias, como aquellos que pueden ocurrir como consecuencia de un incendio, explosión, inundación, derrumbe u otros siniestros, que incluya simulacros periódicos con el POE; también a este respecto se considera que se subestima el riesgo potencial que existe de que ocurra un accidente radiológico y el personal debe estar entrenado para proteger su salud.

Tampoco se tienen establecidas las medidas pertinentes respecto a las aplicaciones médicas para que, en caso de ser necesario, se intervenga quirúrgicamente a las pacientes a quienes se les administra, aplica o implanta material radiactivo, por lo que no se da cumplimiento al Reglamento General de Seguridad Radiológica en este aspecto.

En cuanto a algunas medidas para prevenir los accidentes radiológicos y medidas de seguridad, podemos comentar que los sistemas de control de las fuentes de radiación o equipos que las contienen, no operan de manera normal y se observan fallas frecuentemente, ya que el acelerador lineal Elekta tiene operando más de 20 años y presenta fallas en su operación.

Capítulo III. Condiciones de Seguridad e Higiene

Hoja de resultados
 Capítulo III. Condiciones de Seguridad e Higiene, según Apartados.
 Servicio de Radioterapia de un Hospital de Tercer Nivel
 2009

Apartados	Total esperado	Total Sí	% Sí	Total PM	% PM	Total NO	% NO	Índice Esperado	Índice real	% Eficacia	Nivel de Eficacia
1. Obligaciones del patrón.	25	19	76	3	12	3	12	50	41	82	B
2. Obligaciones del POE.	7	6	86	0	0	1	14	14	12	86	B
3. Reconocimiento y registro.	11	11	100	0	0	0	0	22	22	100	MB
4. Evaluación y control.	N O A P L I C A										
5. Programa específico de seguridad e higiene.	10	0	0	0	0	10	100	20	0	0	N
Total	53	36	68	3	5.7	14	26.4	106	75	70.8	M

Fuente: Archivo del servicio de radioterapia. Marzo de 2009.
 Nivel de Eficacia: **MB** muy bueno, **B** bueno, **M** malo, **N** nulo.

Este capítulo obtuvo un porcentaje de eficacia del 70.8%. El apartado que presenta un porcentaje de eficacia de 100%, es el de reconocimiento y registro, con un nivel de Eficacia Muy Bueno (MB); pero en el caso del apartado que corresponde al programa específico de seguridad e higiene, presenta el 0% de eficacia.

Respecto a este capítulo, se observó que el patrón no cuenta con el programa específico de seguridad e higiene. De igual forma, como ya se indicó en párrafos anteriores, cada año se lleva a cabo un curso de reentrenamiento anual, pero el programa de entrenamiento para casos de emergencia no se ha realizado en los últimos tres años; tampoco se cuenta con los registros de capacitación del POE en cuanto al uso de equipo de protección personal (EPP), por lo que se considera que no se da cumplimiento a lo estipulado en la NOM-012-STPS-1999 ni al Reglamento General de Seguridad Radiológica.

Resultados totales de la verificación, capítulos I, II y III.

Hoja de resultados totales de la verificación
Servicio de Radioterapia de un Hospital de Tercer Nivel
2009

Capítulo	Total esperado	Total Sí	% Sí	Total PM	% PM	Total NO	% NO	Índice Esperado	Índice real	% Eficacia	Nivel de Eficacia
I	63	36	57.1	14	22.2	13	20.6	126	86	68.3	M
II	156	137	87.8	10	6.4	9	5.8	312	284	91	MB
III	53	36	68	3	5.7	14	26.4	106	75	70.8	M
Total	272	209	76.8	27	9.9	36	13.2	544	445	81.8	B

Fuente: Recorrido de observación y archivo del servicio de radioterapia. Marzo de 2009.
Nivel de Eficacia: **MB** muy bueno, **B** bueno, **M** malo, **N** nulo.

En este cuadro, podemos ver en forma resumida los resultados totales de los tres capítulos de la verificación, en donde el Capítulo II, que corresponde a la aplicación del Reglamento General de Seguridad Radiológica obtuvo el más alto porcentaje de eficacia (91%). Por lo que respecta al Capítulo III, Condiciones de Seguridad e Higiene, resultó con una eficacia de 70.8%. En cuanto al Capítulo I, Evaluación Preliminar del servicio de radioterapia, éste obtuvo el porcentaje más bajo, 68.3%. De acuerdo al balance general y los resultados obtenidos en los tres capítulos, se observa que el servicio de radioterapia obtuvo el 81.8% de eficacia.

6.4 Recomendaciones

Uno de los objetivos de este trabajo de investigación se cumple en este apartado, donde a partir de las observaciones y los resultados obtenidos se pretende realizar una serie de consideraciones prácticas que se presentan en el mismo orden en el que se expusieron los resultados de esta investigación: Cédula de Información General de la Empresa, Diagramas Complejos de Salud en el Trabajo y Cuestionario de Verificación.

La intención de este apartado es la de sugerir algunas recomendaciones que orienten a mejorar las condiciones de seguridad, higiene y protección radiológica en el servicio de radioterapia, sobre todo en beneficio del personal ocupacionalmente expuesto que labora en el servicio de radioterapia estudiado.

Cédula de Información Geueeral de la Empresa (CIGE). Como se mencionó, la mayoría del personal técnico y médico que labora en el servicio de radioterapia, cuando termina su jornada de trabajo, continúan prestando sus servicios en otras instituciones de salud; por lo que probablemente se expongan a riesgos y exigencias semejantes, esto podría duplicar los efectos negativos en la salud del trabajador. Por lo tanto es recomendable: por un lado, tener completos y actualizados los expedientes del personal, incluyendo la ficha de registro médico para candidatos a ingresar al servicio de radioterapia y POE; y los exámenes médicos para candidatos a POE. Por otro lado, se debe dar un adecuado y estricto seguimiento al historial médico y la dosis efectiva de acuerdo a la NOM-026-NUCL-1999.

Como se pudo apreciar en la descripción de resultados, poco más de la mitad del personal son mujeres, por lo que es recomendable que este personal se encuentre alerta frente a estados de gravidez o lactancia a fin de evitar la exposición a radiaciones ionizantes.

Diagramas Complejos de Salud en el Trabajo. En las diferentes salas de tratamiento de este servicio, es recomendable establecer normas y procedimientos para contar de manera oportuna con las hojas de tratamiento necesarias para iniciar la atención oportuna de los pacientes, con esto se podrían evitar la acumulación de trabajo por retraso en el inicio del tratamiento y algunas repercusiones en la salud del trabajador.

Es importante considerar que en una unidad hospitalaria siempre existirá el riesgo de adquirir infecciones, sobre todo cuando alguna persona es portadora y no existen datos visibles de enfermedad, por lo cual es recomendable extremar medidas como es el empleo de guantes desechables, el lavado estricto y lubricación frecuente de las manos para evitar cualquier riesgo de contagio al manipular sondas, catéteres o al tener contacto accidental con las secreciones del paciente al realizar algún procedimiento durante su atención. De igual forma cuando se manipulan sustancias químicas como lo es el medio de contraste que pueda tener contacto con alguna parte del cuerpo del trabajador, en éste caso, además se deberá complementar la protección personal con gafas protectoras. Asimismo, se deberá informar al personal antes de iniciar algún procedimiento, cuando el paciente padezca alguna enfermedad infecto-contagiosa, a fin de extremar las medidas de higiene y protección personal.

En la sala de tratamiento de simulación tomográfica se debe considerar que si se provee al POE de dispositivos como son unas pinzas para extraer material termoplástico del agua caliente, se podrían evitar accidentes lamentables y dolorosos como son las quemaduras.

Es conveniente que en los sitios de trabajo donde el personal médico permanece mayor tiempo en pie, se coloquen tapetes antiestrés; en cuanto a las salas de tratamiento, los asientos o sillas, deben contar con respaldo y apoyo lumbar a fin de evitar malas posturas que podrían derivar a largo plazo en lumbalgia y dolor de hombros.

En la sala de tratamiento de baja tasa de dosis, es recomendable valorar el reemplazo de mamparas plomadas actuales por otras mamparas ergonómicas adecuadas, que faciliten la realización de procedimientos en la atención médica de la paciente.

Rediseñar ergonómicamente los mecanismos por medio de sistemas manuales o automatizados para facilitar el cierre de las puertas emplomadas por el personal de operarios y dar entrenamiento al personal respecto a la adopción de técnicas para el manejo adecuado de la mecánica corporal, por ejemplo, al manipular objetos pesados como son las cuñas y las protecciones de plomo.

Llevar a cabo el mantenimiento preventivo de manera oportuna a fin de evitar contratiempos en la operación del equipo de tomografía, o bien sustituir el equipo que por su antigüedad su funcionamiento sea deficiente ya que de otra manera se corre el riesgo de poner en peligro la seguridad de los pacientes, del POE, y del público en general.

Capítulo I del Cuestionario de Verificación. Evaluación Preliminar del Establecimiento. Por lo que respecta a los edificios, locales, instalaciones y áreas de la empresa, es recomendable sustituir las piezas de loseta rota para evitar cualquier accidente y dar cumplimiento a la NOM-STPS-001-2008 y al Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo.

En la parte correspondiente al orden y la limpieza, se deben colocar botes específicos de basura para clasificarla según el tipo de desecho; de igual manera, se debe instalar algún sistema contra plagas y dar cumplimiento al Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo.

Las rutas y salidas de emergencia deben mantenerse libres, además se debe asegurar que la puerta de salida correspondiente se abra con facilidad y que no se encuentre obstruida para permitir la salida rápida de las personas en caso de urgencia, a fin de dar cumplimiento a la NOM-002-STPS-2000 y al Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo. En cuanto a los sistemas contra incendio, se debe contar con la lista de la brigada de prevención y combate de incendios; también deben estar visibles las extensiones telefónicas del grupo de protección civil del hospital y contar con el equipo de protección respectivo.

Se deben instalar detectores de humo o de calor en toda el área de radioterapia, así como un sistema de alarma luminosa o sonora para alertar sobre incendios; igualmente se deben colocar señalamientos respecto a la identificación de los materiales e instalaciones que tienen riesgo de incendio para dar cumplimiento a la NOM-002-STPS-2000 y al Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo los cuales no se cumplen como está estipulado.

De igual forma, en lo que respecta a las instalaciones eléctricas, en caso de que se realicen reparaciones deben colocarse las etiquetas y señalamientos a fin de evitar riesgos de accidentes como está indicado en la NOM-029-STPS-2005 y en el Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo.

Los señalamientos de manejo, seguridad y código de colores en las salas de tratamiento de radioterapia no se deben limitar a indicar peligro de radiación, sino señalar a los trabajadores que deben cumplir con las indicaciones de seguridad e higiene para prevenir accidentes y enfermedades del trabajo, y así cumplir con lo establecido en el Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo.

También en los lugares de acceso a las salas de tratamiento, se deben especificar en un letrero, los tiempos máximos de permanencia permitidos y el equipo especial de protección radiológica que se debe emplear en cada una de las zonas; de igual modo, en las salas de tratamiento se deben colocar señalamientos que indiquen el empleo de Equipo de protección personal que atenúe o evite la exposición a radiaciones ionizantes de zonas corporales expuestas como son los ojos, el cuello y las manos, así como guantes o lentes cuando se realicen procedimientos que indiquen riesgo de contaminación química o biológica.

Es recomendable realizar un estudio para evaluar las condiciones térmicas y tiempo de exposición que pueden alterar la salud y el confort del personal que labora en el área del acelerador lineal Varian.

Se debe proveer a los trabajadores con bebederos suficientes de agua purificada, para el personal que labora en el servicio de radioterapia. Por otra parte, el personal debe contar con regaderas en el área de vestidores y con un área adaptada específicamente para el descanso de los trabajadores, así como instalaciones deportivas y recreativas para el personal, no solo en el área de radioterapia, sino para todo el hospital, por lo que se debería valorar la ubicación de dichas áreas que beneficien a los trabajadores.

Resulta contradictorio que en un lugar donde se realizan procedimientos médicos especializados y labora personal de salud, se carezca de un mecanismo que asegure la

atención pronta y oportuna de los trabajadores, la cual debe ser independiente de la atención que se otorgue a los pacientes y al público en general. Por lo que es muy recomendable el establecimiento de un área donde se proporcione servicio médico para el personal del servicio de radioterapia, además de que todos los sitios de trabajo deben contar con los medicamentos y materiales de curación indispensables para la atención médica, sobre todo la de urgencia.

Capítulo II del Cuestionario de Verificación. Reglamento General de Seguridad Radiológica. En relación a la operación de los aceleradores de partículas, es recomendable tener la hoja de evaluación que contemple los efectos de calentamiento del equipo y los posibles riesgos de fuego o explosión.

De igual forma, en los lugares de acceso, además de la colocación de letreros con el símbolo que indica zona de radiación en las salas de tratamiento, se deben especificar los tiempos máximos permitidos de permanencia en cada una de las zonas.

Independientemente de que las fuentes de radiación ionizante están calibradas por un proveedor de servicios autorizado por la CNSNS, éstas se deben etiquetar con la fecha y los factores de calibración para cada escala o con las gráficas de calibración, como se especifica en el Reglamento General de Seguridad Radiológica y la NOM-229-SSA1-2002.

Por otra parte, se debe contar con un Plan de Emergencia, congruente con los lineamientos del Sistema Nacional de Protección Civil y basado en el estudio de las consecuencias radiológicas de los accidentes que pueden suceder en la instalación, independientemente de que el servicio de radioterapia esté incluido en el Plan general del hospital.

En el plan de emergencia y en el manual de seguridad radiológica, que están incluidos en el manual de procedimientos del servicio de radioterapia, se debe actualizar la lista del personal que se encuentra adscrito al servicio de radiología, así como la firma del personal que actualmente es responsable de la elaboración del plan y manual respectivos.

Se debe incluir al POE en un programa de entrenamiento para casos de emergencia como parte del curso de actualización anual, el cual debe comprender, tanto los accidentes

radiológicos potenciales durante operaciones rutinarias, como aquellos que pueden ocurrir como consecuencia de un incendio, explosión, inundación, derrumbe u otros siniestros.

Asimismo, se deben establecer las medidas pertinentes respecto a las aplicaciones médicas para que, en caso de ser necesario, se intervenga quirúrgicamente a las pacientes a quienes se les administra, aplica o implanta material radiactivo.

Se deben realizar los procedimientos necesarios a fin de brindar el mantenimiento preventivo de manera completa y oportuna a los equipos con que cuenta el servicio de radioterapia, especialmente el equipo que por su antigüedad, su funcionamiento sea deficiente.

Finalmente, es muy importante que el personal directivo del hospital en donde se ubica el servicio de radioterapia, realice y apoye las gestiones para que se garantice que los sistemas de control de las fuentes de radiación o los equipos que las contienen, operen de manera normal y en caso de ser necesario, se sustituya a fin de evitar fallas, prevenir accidentes radiológicos lamentables y garantizar el bienestar y la seguridad de los pacientes, público en general y POE.

Capítulo III del Cuestionario de Verificación. Condiciones de Seguridad e Higiene. El servicio de radioterapia debe contar con un Programa específico de seguridad e higiene, que es una obligación que está estipulada en la NOM-012-STPS-1999; cabe señalar que este servicio cumple con muchos aspectos contemplados en ella, lo cual puede facilitar su aplicación. Además debemos aclarar que tanto el plan de emergencia como el manual de seguridad radiológica y el manual de procedimientos, no sustituyen dicho programa.

Como ya se señaló en párrafos anteriores, se deben llevar a cabo los cursos de reentrenamiento anual, así como el programa de entrenamiento para casos de emergencia; también se deben incluir los registros de capacitación del POE en cuanto al uso de equipo de protección personal (EPP); y contar con los procedimientos que aseguren que el POE utilice dicho equipo.

Conclusiones generales

El trabajo es una necesidad vital del hombre y para llevarlo a cabo pone en acción su propio cuerpo, el desempeño del trabajo por lo tanto, no está exento de riesgos y exigencias que pueden alterar las condiciones de salud de los individuos. Uno de esos riesgos son las radiaciones ionizantes, su empleo ha traído múltiples beneficios en sus diferentes aplicaciones, pero también el uso extendido de éstas tienen una porción negativa.

La radiación puede afectar el cuerpo en diversas formas, en especial el de aquellas personas que por sus actividades laborales o su estado de salud, están en contacto con este tipo de radiaciones. Lo anterior representa un riesgo no sólo para quien recibe la radiación, sino también para quien realiza tales procedimientos. Estos aspectos cobran relevancia, ya que por un lado, es posible que muchos de los efectos negativos que afectan la salud se manifiesten varios años después; y por otro, muchos de ellos se hacen evidentes cuando los daños son irreversibles.

A este respecto existen diferentes experiencias en la investigación de la exposición a las radiaciones ionizantes en diversos ambientes de trabajo, muchas de ellas enfocadas al análisis de dosimetría; condiciones generales de trabajo; seguridad y protección radiológica; aspectos administrativos y algunos sobre marcadores biológicos; sin embargo, no se encontraron estudios que pongan de manifiesto la relación directa entre la exposición del POE en los servicios de radioterapia y los daños a la salud en estos sitios de trabajo.

Estos aspectos son importantes ya que cualquier radiación ionizante no controlada puede provocar alteraciones diversas si se genera sobreexposición, o bien, si no se realizan acciones necesarias para proteger y dar seguimiento a la salud de los trabajadores, por lo que otro de los aspectos a considerar es que al parecer, no se cuenta con un sistema de información para determinar los daños de salud específicos que se generan a partir de la exposición a las radiaciones en servicios de radioterapia, que permitan llevar a cabo un seguimiento estricto y a largo plazo de la salud del POE.

Uno de los problemas para evaluar los riesgos y daños a la salud por radiación ionizante, puede ser la falta de capacitación de los profesionales de la salud para contribuir al

desarrollo de una epidemiología laboral en estos sitios de trabajo. Se considera que además de los exámenes de laboratorio contemplados en la NOM-026-NUCL-1999, algunos indicadores biológicos para la evaluación del daño de material genético por exposición a radiaciones y la cuantificación de apoptosis en linfocitos podrían brindar mayor información sobre los riesgos de la radiación en personas expuestas, especialmente en relación con la distribución y el grado de exposición a la radiación, lo cual representa además un reto para futuros trabajos en otras líneas de investigación.

La normatividad respecto a las radiaciones ionizantes en nuestro país es bastante amplia, ya que está plasmada en leyes, reglamentos y normas, además de los compromisos internacionales que debe cumplir con la OIT. No obstante tal base jurídica, tiene dos grandes obstáculos: por un lado la característica que tienen de obligatoriedad dificulta su aceptación en los sitios de trabajo; y por otro lado, cuando la autoridad correspondiente evalúa el cumplimiento de la normatividad, generalmente esta se aplica de manera parcial.

Se puede considerar que el uso de las radiaciones en el servicio de radioterapia evaluado puede poner en riesgo la salud del personal ocupacionalmente expuesto cuando no se adoptan todas las medidas de seguridad y protección radiológica. Es notorio también, que algunas de las condiciones de seguridad e higiene laboral en este sitio de trabajo no son las deseables, principalmente por la carencia de un programa específico de la materia y la falta de entrenamiento en aspectos de emergencia, tanto radiológica como de protección civil.

Por lo tanto, es importante contar con métodos de evaluación que estén orientados a la identificación de los riesgos y las exigencias en los lugares de trabajo. Esto es fundamental para examinar la salud laboral y poder establecer medidas para controlar o eliminar la nocividad laboral, es decir, aquellos factores que puedan poner en riesgo la salud del POE.

En el presente trabajo se empleó la metodología denominada Verificación, Diagnóstico y Vigilancia de la Salud Laboral de la Empresa. Se considera que dicha metodología para evaluar el servicio de radioterapia, es útil para verificar las medidas de protección y seguridad en estos sitios de trabajo, ya que entre sus principales beneficios se encuentran: permite realizar un diagnóstico integral a partir de la información recopilada; se requiere de poco personal para su aplicación; el procesamiento y análisis de los datos es sencillo;

puede ser aplicado por diferentes evaluadores; los indicadores son fáciles de obtener, lo que facilita su interpretación; facilita la elaboración de un programa de intervención, para mejorar las condiciones en que labora el POE.

Finalmente, podemos decir que esta metodología debería ser considerada en las instituciones de salud como parte de los instrumentos que deben ser aplicados con regularidad para tener de manera práctica y clara, datos que aporten no sólo el conocimiento acerca de los riesgos y exigencias que pueden deteriorar la salud de los trabajadores; sino además, podría evitar sanciones económicas y administrativas futuras, por parte de las autoridades regulatorias correspondientes.

Referencias bibliográficas

ADCIS (Advanced Concepts in Imaging Software). Análisis de cometas (biología). Software para la automatización de la prueba del cometa sobre un gel de electroforesis. Francia. (4/12/09). Disponible en:

<http://www.adcis.net/es/Applications/SuccessStories/CometAssay.html>

Álvarez C.B., Vignolo J.C., Gómez M., Tomasina F. 2007. Estudio de condiciones y medio ambiente de trabajo en un servicio de radioterapia oncológica. *Revista Cubana de Salud y Trabajo* 2008. 9(2):32-7.

Alvear G., Villegas J. 1989. Los riesgos y sus efectos en la salud. En *Defensa de la Salud en el Trabajo*. SITUAM. 1989. pp.35-54. México.

Angiola S. 2010. Historia de la Radioprotección Médica. 29/11/10. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos3/radiomed/radiomed.shtml>

Baró J., Echagüe G., Elena González E., Herranz R., Marcos S., Martínez M., Olivares P., Paredes M.C., Rodríguez J.M. 2000. Origen y gestión de residuos radiactivos. *Ilustre Colegio Oficial de Físicos*. pp.205. Madrid España.

Beldarraín. 2000. Apuntes históricos sobre el origen y desarrollo de la protección radiológica en Cuba. *Revista Cubana de Oncología*. La Habana, Cuba. 16(3):192-197.

Bibbolino C., Pittalis S., Schininá V., Busi Rizzi E., Puro V. 2009. Hygiene precautions and the transmission of infections in radiology. *Vascular and interventional radiology. Radiology medical*. Roma, Italy. (114):111-120.

Bontrager K., Lampignano J. 2004. "Unidades de radiación". En: *Posiciones radiológicas y correlación anatómica*. pp. 53-60. Madrid, España: Editorial Médica Panamericana.

Bosch E. 2004. Sir Godfrey Newbold Hounsfield y la tomografía computada, su contribución a la medicina moderna. *Revista Chilena de Radiología*. 10 (4):183-185.

Carvajal M. 2003. La braquiterapia como tratamiento de tumores localizados. *Revista de radiobiología*. 3 (2): 66-70

Cedillo I. 1999. Historia de la Medicina. La época de florecimiento de la enseñanza clínica en *Revista Médica del Hospital General de México*. 52 (3): 62

CSIF (Central Sindical Independiente y de Funcionarios). Foro prevención nº 2. Prevención de riesgos laborales. 2008. (4/08/10. 24 p.). Disponible en: http://www.csi-csif.es/andalucia/modules/mod_saludlaboral/archivo/080305foro.pdf

CONCYTEC (Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica del Perú). Red de periodistas y divulgadores científicos del Perú. Comisión Mixta para el Empleo de Isótopos y Radiaciones en el Desarrollo de la Agricultura y la Alimentación. Irradiación en alimentos. 2005. (4/08/09. 1p.). Disponible en:

http://www.concytec.gob.pe/redperiodistaspe/index.php?option=com_content&task=view&id=65&Itemid=59&lang=es

Consejo de Seguridad Nuclear. Sociedad Española de Protección Radiológica. Sociedad Española de Física Médica. 2002. Protección Radiológica. Foro sobre protección radiológica en el medio hospitalario. España. Disponible en:

<http://www.madrid.org/cs/Satellite?blobtable=MungoBlobs&blobcol=urldata&blobkey=id&blobwhere=1158612475507&ssbinary=true&blobheader=application/pdf>

Cordeo B. 2000. El origen del estudio de los cristales en México. Ciencia y Desarrollo. CONACYT. 26 (154):16-25.

Cuenca R. 1997. La génesis del uso de las radiaciones en la medicina. Colombia Médica. 28 (1):8.

Cullity B. 2008. Elements of X-Ray Diffraction. Discovery of X-Ray. p.8. Addison-Wesley Publishing Company. USA.

Diccionario de Administración y Finanzas, 1993. Editorial Océano, España.

De la Huerta R., Gómez E., Mejía U., Velasco R.A.E., García E. 2005. Braquiterapia de alta tasa de dosis con Ir-192 en cáncer mamario. Revista de Sanidad Militar. México. 59(5):283.

EU-OSHA (European Agency for Safety and Health at Work). Comunicado de prensa. Organizaciones europeas y multinacionales unen sus fuerzas para fomentar lugares de trabajo seguros y saludables. 2008. a. (8/08/09. 1 p.). Disponible en:

<http://osha.europa.eu/es/press/press-releases/european-organisations-and-multinationals-join-forces-to-promote-safe-and-healthy-workplaces>

EU-OSHA (European Agency for Safety and Health at Work). Comunicado de prensa. El objetivo de la Semana europea es recortar los accidentes y enfermedades en el lugar de trabajo. 2008. (13/08/09. 1 p.). Disponible en:

<http://osha.europa.eu/es/press/press-releases/eu-health-and-safety-week-launched-to-reduce-workplace-accidents-and-diseases>

Ferrer A. 2002. Radiactividad y desintegración nuclear. Dosimetría. Unidades. Efectos biológicos de la radiación. En: Física nuclear y de partículas. p.134. Editorial Universidad de Valencia, España.

Ferrer M. De la División del trabajo a la integración. 2005. 01/06/2010. Disponible en: <http://www.gestiopolis.com/canales5/eco/deladivi.htm>

Foroiberam (Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y Nucleares). Manual de seguridad y protección radiológica. España. 2003. (22/07/10. 77p.). Disponible en:

<http://www.foroiberam.org/view/download/ESPANA/MPRGENERICOMEDIOHOSPITALARIO.pdf>

Foro de la Industria Nuclear Española. Energía nuclear en España. Antecedentes de la energía nuclear. Foro Nuclear. 2004. (12/08/09. 3 p.) Disponible en:

http://www.foronuclear.org/ficheros-informe_prensa/35--Energianuclearespana04.pdf

Foro de la Industria Nuclear Española. 50 años de energía nuclear. El Uranio como fuente energética. 2008. (19/08/09. 3 p.) Disponible en:

<http://www.foronuclear.org/pdf/monograficos/uranio.pdf>

Fortes I. 2003. Radiactividad y sus aplicaciones en Medicina. Unidades de cobaltoterapia. Revista de Radiobiología. España. 3(2003):71-73.

Franco J.G. 2003. Un modelo holístico para la evaluación integral de las empresas. Salud de los Trabajadores, Venezuela. 11 (2):117, 115-130.

Franco J.G. PROVERIFICA. 2010. (20/01/2010). Disponible en:

<http://www.proverifica.com/index.htm>

Fucic A., Franco D., Ceppi M., Lucas J.N. 2008. Spontaneous abortions in female populations occupationally exposed to ionizing radiation. Arch Occup Environ Health. . Zagreb, Croacia. (81): 873–879.

Gallego E. 2002. “Riesgos por exposición a radiaciones ionizantes”. En: Seguridad Industrial. Efectos biológicos por radiación ionizante. pp. 12-13. Universidad Politécnica de Madrid, España.

Gaona E. 1999. “La radioterapia”. En: Cáncer, radiación y seguridad radiológica. pp. 72-78. México: Edilibros, S.A.

Gaona E. 2001. “El preludeo al descubrimiento de los rayos X”, “Los rayos X llegan a América”, “Efectos biológicos de los rayos X”. En: Los Rayos X en el diagnóstico Médico. Física, Seguridad Radiológica y Control de Calidad. pp.38, 48-49,171. México: Distribuidora y Editorial mexicana S.A. de C.V.

Gaona E. 2006. “Efectos biológicos de la radiación”, En: Física de la radiología y Seguridad Radiológica. pp.138-141. México: Distribuidora y Editorial mexicana S.A. de C.V.

García L. 2006. Clínica de radiocirugía. Ponencia. Unidad de neurocirugía funcional, estereotaxia y radiocirugía. Hospital General de México. México, D. F.

Garriz A. 2006. El modelo atómico nuclear. Manifestaciones de la materia. Revista Educación Química. México. 20 (1):83-86.

Grimaldi J., Simonds R. 2006. "Radiación ionizante y no ionizante". En: La seguridad Industrial. Su administración. pp. 442. México: Alfaomega.

Güerci, A.M., Zúñiga L.A., Dauder R. 2003. El valor predictivo del ensayo cometa en la evaluación de la radiosensibilidad individual en sangre periférica. Theoria. Ciencia, Arte y Humanidades. República de Chile. 002(15): 41-62.

Güerci, A.M., Grillo C.A., Seoane A.I., Dulout F.N. 2004. Análisis del efecto genotóxico inducido por exposición crónica a dosis bajas de rayos x en trabajadores de radiodiagnóstico y en células de la línea mrc-5. Acta Toxicológica. La Plata, Argentina. 12 (Supl.): 47-49.

Hernández S.R. 2000. "Tipos de estudio". En: Metodología de la Investigación, pp. 186-187. México: Mc Graw Hill.

Hospital General de México (HGM) *a*. Anuario estadístico. 2008. (3/08/09). Disponible en: http://www.hospitalgeneral.salud.gob.mx/interior/planeacion/anuario_08.html

Hospital General de México (HGM) *b*. Organigrama. 2008.(22/03/09). Disponible en: http://www.hospitalgeneral.salud.gob.mx/descargas/pdf/area_medica/organi_area_medical.pdf

Hospital General de México (HGM) *c*. Informe de labores. México. 2008.3/08/09. Disponible en: http://www.hospitalgeneral.salud.gob.mx/interior/dirgral/info_labores.html

Hospital General de México (HGM) *d*. Antecedentes históricos. México. 2008. (22/03/09). Disponible en: <http://www.hospitalgeneral.salud.gob.mx/interior/dirgral/antecedentes2.html>

Instituto Balseiro. 2005. Aplicaciones médicas de las radiaciones ionizantes, equipos, instalaciones y prácticas. República Argentina. (29/09/10). Disponible en: <http://www.ib.cnea.gov.ar/~protrad/biblioteca/Aplicaciones%20M%E9dicas%20de%20las%20Radiaciones%20Ionizantes.pdf>

Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS). 2005. Catálogo de actividades para la clasificación de las empresas en el seguro de riesgos de trabajo. Reglamento de la Ley del Seguro Social en materia de afiliación, clasificación de empresas, recaudación y fiscalización. pp. 108.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2009. Comunicado Núm. 194/09. Aguascalientes, México.

ININ (Instituto Nacional de investigaciones Nucleares). 2004. Curso de Protección Radiológica. pp.63. México.

INVAP (Investigaciones Aplicadas Sociedad del Estado). Para qué sirven los radioisótopos. 2009. (4/08/09).

Disponible en: http://www.invap.net/nuclear/plant_radio/intro.html

Jarti P, Pukkala E, Uitti J, Auvinen A. 2006. Cancer incidence among physicians occupationally exposed to ionizing radiation in Finland. *Scand J Work Environ Health*; 32 (5):368–373.

Kopjar N., Garaj V. 2004. Assessment of DNA damage in nuclear medicine personnel – comparative study with the alkaline comet assay and the chromosome aberration test. Institute for Medical Research and Occupational Health, Ksaverska. Zagreb, Croatia. 2008(3):179-191.

Koczyński A., Chec A., Lach D., Dabek M. 2001. Occupational exposure to external ionizing radiation in Poland, 1999. Central Laboratory for Radiological Protection, CLOR. Radiation Protection Dosimetry. Nuclear Technology Publishing. Warsaw, Poland. 96 (1–3, 61–62).

Larcher A., Bonet D., Lerner A. Dosis ocupacional debida a neutrones en aceleradores lineales de uso médico. Autoridad Regulatoria Nuclear. 2001(17/05/2010).pp. 36. Disponible en: <http://www.foroiberam.org/view/download/ARGENTINA/foro94.pdf>

Luna M.G., Martínez S. 2005. Exigencias laborales y daños a la salud en un establecimiento de la industria químico farmacéutica en México en *Salud de los Trabajadores*. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Xochimilco. 13 (2):14.

Maldonado C., Manjon J.A., Pérez N. 2002. Tratamiento de cicatrices hipertróficas y queloides. *Revista Internacional de Dermatología y dermocosmética*. España. 5(5): 268-270.

Marx K.1980. “La producción de la plusvalía absoluta”. En: *El Capital Tomo I, Libro I*. 9ª. Edición. pp. 215. México: Siglo XXI.

Méndez I. 1990. El protocolo de investigación. Lineamientos para su investigación y análisis. México. Trillas.pp. 11-13.

Molina G. 1989. “Antecedentes”. En: *Introducción al derecho Mexicano de la seguridad social*. pp.26. México: Cárdenas Editor.

Noriega M., Villegas J. 1989. “El trabajo, sus riesgos y la salud”. En: *En defensa de la salud en el trabajo*. pp. 5-12. México D.F.: SITUAM.

Noriega M., Franco J. G., Martínez S., Villegas J., Alvear G., López J. 2005. “La epidemiología laboral y sus dimensiones”. En: Evaluación y seguimiento de la salud de los trabajadores. pp.13, 21. México D.F.: U.A.M. Unidad Xochimilco.

Noriega M., Franco J.G., Garduño M.Á., León L.E., Martínez S., Cruz A.C. 2008. Informe Continental sobre la Situación del Derecho a la Salud en el Trabajo. Situación en México. Mineros fallecidos en Pasta de Conchos, Coahuila. (pp. 4-5).

OIT (Organización Internacional de Trabajo). Convenios y Recomendaciones de la OIT acerca de la salud y la seguridad en el trabajo. 04/01/10. Disponible en:
http://training.itcilo.it/actrav_cdrom2/es/osh/legis/ilotop.htm

OIT (Organización Internacional de Trabajo). 1960. Convenio C115 sobre la protección contra las radiaciones. Recomendación R114 sobre la protección contra las radiaciones. Ginebra, Suiza: OIT, 6 p.

OIT (Organización Internacional de Trabajo). 1974. Formulario de memoria relativa al Cáncer profesional. Convenio 139. Recomendación 147. Ginebra, Suiza: OIT, 6 p.

OIT (Organización Internacional de Trabajo). 1981. Convenio 155 y Recomendación R164 sobre seguridad y salud de los trabajadores y medio ambiente de trabajo. Ginebra, Suiza: OIT, 9 p.

OIT (Organización Internacional de Trabajo). 1985. Convenio C161 sobre los servicios de salud en el trabajo. Recomendación R171 sobre los servicios de salud en el trabajo. Ginebra, Suiza: OIT.

OIT (Organización Internacional de Trabajo). 1999. Introducción a la Seguridad y salud laborales. La seguridad y salud en el trabajo. Colección de Módulos. OIT.

OIT Organización Internacional de Trabajo. 2000. “Radiaciones ionizantes”. En: Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. Cap. 48. pp. 48.1-48.3, 48.8. Ginebra, Suiza: OIT.

OIT Organización Internacional del Trabajo (Organización Internacional del Trabajo). Dos millones de muertos en el trabajo por año: una tragedia que podría evitarse. 2004. (26/08/09. 1 p.). Disponible en:
http://www.ilo.org/global/about-the-ilo/press-and-media-centre/insight/WCMS_075345/lang-es/index.htm

OIT (Organización Internacional de Trabajo). Día Mundial de la Seguridad y la Salud en el Trabajo. Informe sobre seguridad y salud en el trabajo. 2009. a (7/12/09. 2p.). Disponible en:
http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@dgreports/@dcomm/documents/publication/wcms_105149.pdf

OIT Organización Internacional del Trabajo (Organización Internacional del Trabajo). Acerca de la OIT. 2009. b. (26/08/09. 1 p.). Disponible en: <http://www.ilo.org/global/about-the-ilo/lang--es/index.htm>

OMS (Organización Mundial de la Salud). 1981. Conferencia sobre riesgos profesionales. Ginebra, Suiza.

Prieto E. A., Llópiz N. D. 1999. Normalización de la electroforesis de células individuales (ensayo cometa). Revista Cubana Investigación Biomédica. 18(1):34-6.

Real Academia Española (RAE). Diccionario de la Real Academia Española. 1992. Vigésima primera edición. Tomo II. Ed. Espasa. Madrid España.

Reglamento General de Seguridad Radiológica. 1988. Secretaría de Energía, Minas e Industria paraestatal. México.

Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo. Secretaría de Trabajo y Previsión Social. 1997. México.

Rivero O. 2008. Los pilares de la neumología en México. Seminario. El Ejercicio Actual de la Medicina. México.

Rodríguez D. 2005. Cirugía Bucal. Patología y Técnica: Masson. Madrid.

Rodríguez M., Martínez A. El uso de los rayos X en la medicina. Instituto de física de la Universidad Nacional Autónoma de México. 2010. 14/08/10. Disponible en: <http://www.smf.mx/boletin/Oct-95/ray-med.html>

Roses M. 2006. La física radiológica dentro del marco de la cooperación técnica de la OPS en Revista Panamericana de Salud Pública. 20 (2): 3.

Samerdokiene V., Atkocius V., Kurtinaitis J., Valuckas K.V. 2008. Occupational exposure of medical radiation workers in Lithuania, 1950–2003. Radiation Protection Dosimetry. Institute of Oncology, Vilnius University, Santariskiu, Lithuania. 130(2): 239–243.

Sánchez G. 2005. El Uranio, un elemento poco conocido. Nuclear España. Revista de la Sociedad Nuclear Española. 254 (1): 74-75.

Sanfilippo J. 2008. Doctor Julián Villarreal. Gaceta. Facultad de Medicina UNAM. (18/11/08) p. 1. Disponible en: <http://www.facmed.unam.mx/publicaciones/gaceta/mar252k4/drjulian.html>

Secretaría de Energía, Minas e Industria paraestatal. 1988. Reglamento General de Seguridad Radiológica. México.

Secretaría de Energía. 2005. Manual de Organización de la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias. México.

Secretaría de Energía. Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias. Norma Oficial Mexicana NOM-002-NUCL-2004. Pruebas de fuga y hermeticidad de fuentes selladas. Diario Oficial de la Federación. 2004. México.

Secretaría de Energía. Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias. NOM-026-NUCL-1999. Vigilancia médica del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes. Diario Oficial de la Federación. 1999. México.

Secretaría Energía. Comisión de Seguridad Nuclear y Salvaguardas. PROY-NOM-031-NUCL-2008. Requerimientos para la calificación y entrenamiento del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes. Diario Oficial de la Federación. 2008. México.

Secretaría de Energía. Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias. NOM-032-NUCL-1997. Especificaciones técnicas para la operación de unidades de teleterapia que utilizan material radiactivo. Diario Oficial de la Federación. 1998. México.

Secretaría de Energía. Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias. NOM-033-NUCL-1999. Especificaciones técnicas para la operación de unidades de teleterapia. Aceleradores lineales. Diario Oficial de la Federación. 1999. México.

Secretaría de Salud. Última Reforma al Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Prestación de Servicios de Atención Médica. 2008. Diario Oficial de la Federación. México.

Secretaría de Salud. NOM-002-SSA2-1993. Para la organización, funcionamiento e ingeniería sanitaria del servicio de radioterapia. Diario Oficial de la Federación. 1994. México.

Secretaría de Salud. 2009. Ley General de Salud. Última Reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación. México.

STPS (Secretaría del Trabajo y Previsión Social) *a*. Norma Oficial Mexicana NOM-001-STPS-2008. Edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo-Condiciones de seguridad. Diario Oficial de la Federación. 2008. México.

STPS (Secretaría del Trabajo y Previsión Social). Norma Oficial Mexicana NOM-002-STPS-2000. Condiciones de seguridad, prevención, protección y combate de incendios en los centros de trabajo. Diario Oficial de la Federación. 2000. México.

STPS (Secretaría del Trabajo y Previsión Social). Norma Oficial Mexicana 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. Diario Oficial de la Federación. 1999. México.

STPS (Secretaría del Trabajo y Previsión Social). Norma Oficial Mexicana NOM-015-STPS-2001. Condiciones térmicas elevadas o abatidas- Condiciones de seguridad e higiene. Diario Oficial de la Federación. 2002. México.

STPS (Secretaría del Trabajo y Previsión Social) *b*. Norma Oficial Mexicana NOM-026-STPS-2008. Colores y señales de seguridad e higiene e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías. Diario Oficial de la Federación. 2008. México.

STPS (Secretaría del Trabajo y Previsión Social). Norma Oficial Mexicana NOM-029-STPS-2005. Mantenimiento de las instalaciones eléctricas en los centros de trabajo - Condiciones de seguridad. Diario Oficial de la Federación. 2005. México.

STPS (Secretaría del Trabajo y Previsión Social). 2003. Reglamento Interior de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social. Diario Oficial de la Federación. México.

Sendra F. 2002. Radiobiología en braquiterapia de baja tasa de dosis. Radiobiología. 2 (1):26-33.

Smith A. 1999. "La riqueza de las naciones". En: Libro I. Capítulo 2. p.17. Madrid: Alianza Editorial.

Stewart C. 2003. "Definiciones radiográficas, Fundamentos de la física de la radiación". En: Manual de radiología. pp. 13-21. Houston Texas: Mosby.

Stewart C. 2005. "Informes de daños por radiación". Manual de radiología para técnicos: Física, Biología y protección radiológica. p. 11: España: Elsevier.

Sujul C.D. 2005. Una Propuesta Metodológica para la Evaluación Integral de Establecimientos que hacen uso de rayos X diagnóstico. Tesis de Maestría, México: Maestría en Ciencias en Salud de los Trabajadores. Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco.

Tomasina F., Laborde A., Spontón F., Echegoyen Z. 2004. Programa de Vigilancia de Exposición a Radiaciones Ionizantes en el Ambiente de Trabajo. III Jornadas de Retema. Visión Universitaria del Ambiente en el Uruguay. República de Uruguay.

Tovar V., Alvarez R., Garnica H., Vergara F. 2006. Simposio de Metrología. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares ININ. México.

UNSCEAR (Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas). 2008. Informe del Comité Científico UNSCEAR. 56° período de sesiones. Suplemento N° 46. Nueva York, E.U.A.

Valverde S., Díaz V., Tomás San Pedro J.M., Encinas J.L. 2005. Braquiterapia con hilos extraesclerales de iridio-192 en melanomas uveales posteriores. Resultados a largo plazo. Oncología. Madrid. 28(9): 11-21.

Zomeño M. 2002. Glosario de Radioterapia. Panace. Madrid, España. 3(9-10): 29-33.