



Universidad Abierta Interamericana  
Sede Regional Rosario  
Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud  
Licenciatura en Producción de Bioimágenes

Tema:

DOSIMETRÍA PERSONAL EN RADIOLOGÍA CONVENCIONAL

Autora:

Cortés, Yanina Lorena

Tutor:

Portomán, José Luis

Fecha: Marzo 2014

## ÍNDICE.

<b>RESUMEN</b> .....	4
<b>I - INTRODUCCIÓN</b> .....	5
<b>II - JUSTIFICACIÓN</b> .....	8
<b>III - SITUACIÓN PROBLEMÁTICA</b> .....	9
<b>IV - HIPÓTESIS</b> .....	12
<b>V - OBJETIVOS</b> .....	13
<b>VI - ESTADO DEL ARTE</b> .....	14
<b>VII - MARCO TEÓRICO</b> .....	21
EFECTOS ADVERSOS DE LA RADIACIÓN .....	21
FENÓMENO DE LA ACCIÓN DE LA RADIACIÓN SOBRE LA CÉLULA.....	22
EFECTO BIOLÓGICO DE LA RADIACIÓN IONIZANTE .....	22
EFECTOS PRECOCES DE LA RADIACIÓN .....	23
LETALIDAD DE LA RADIACIÓN AGUDA .....	23
DOSIS LETAL (DL) 50/30 .....	26
DAÑO HÍSTICO LOCAL .....	26
EFECTOS DIFERIDOS DE LA RADIACIÓN .....	29
RADIACIÓN Y EMBARAZO .....	32
IRRADIACIÓN IN ÚTERO.....	33
EXPOSICIÓN PROFESIONAL A LA RADIACIÓN .....	34
DOSIS LÍMITE DE RADIACIÓN .....	36
REDUCCIÓN DE LA EXPOSICIÓN PROFESIONAL A LA RADIACIÓN .....	38
TÉCNICA RADIÓLOGA EMBARAZADA .....	39
PROTECCIÓN DEL PERSONAL .....	40
PRINCIPIOS ALARA .....	41
RIESGO RADIOLÓGICO .....	42
RADIOPROTECCIÓN .....	46
PRINCIPIOS CARDINALES DE LA PROTECCION RADIOLOGICA .....	46
COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA .....	47
CONTROL DE LA EXPOSICIÓN OCUPACIONAL .....	48
DOSÍMETRO PERSONAL.....	49
DETECCIÓN DE LA RADIACIÓN Y MEDIDA .....	51
DETECTORES DE GAS.....	52
DETECTORES SEMICONDUCTORES .....	54

DETECTORES DE CENTELLEO.....	54
DOSÍMETROS PERSONALES.....	55
UNIDADES DE RADIOLOGÍA.....	59
EXPOSICIÓN.....	60
DOSIS ABSORBIDA.....	60
KERMA.....	61
DOSIS EQUIVALENTE.....	61
DOSIS EFECTIVA.....	62
DOSIS EFECTIVA EN EL TÉCNICO RADIÓLOGO.....	62
DOSIS EFECTIVA COMPROMETIDA.....	62
DOSIS EFECTIVA COLECTIVA.....	63
REGLAMENTACIÓN Y NORMAS.....	63
<b>VIII - MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>73</b>
DISEÑO METODOLÓGICO.....	73
<b>IX - RESULTADOS.....</b>	<b>76</b>
<b>X - CONCLUSIÓN.....</b>	<b>78</b>
<b>XI - RECOMENDACIONES.....</b>	<b>79</b>
<b>XII - BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>80</b>
<b>XIII - ANEXOS.....</b>	<b>83</b>

## RESUMEN

El presente estudio tiene por objetivo evaluar cuan ponderado es el uso del dosímetro personal por el Técnico Radiólogo de dos servicios de Diagnóstico por Imágenes, uno Público y otro Privado, de la ciudad de Casilda. Para ello, se ha diseñado un estudio no experimental, descriptivo, transversal con utilización de fuentes primarias debido a que se trabajó con los sujetos en su ámbito natural, sin introducir ninguna modificación o alteración. Utilizando una muestra integrada por la totalidad de 10 Técnico Radiólogos de los servicios en estudio, 5 Técnicos Radiológicos que integran el servicio privado y 5 Técnicos Radiólogos que integran el servicio público. En esta población predomina el género femenino, con edades entre 31 y 40 años en el servicio de Diagnóstico por Imágenes Privado, mientras que, en el servicio de Diagnóstico por Imágenes Público prevalecen las edades entre 31 a 50 años.

Se evaluó, la ponderativa que tiene el técnico radiólogo sobre el uso o no del dosímetro personal comparando la información brindada por los encuestados de ambos servicios. Dentro de los resultados obtenidos se evidencia que la mayoría de los Técnicos Radiólogos de los servicios de Diagnóstico por Imágenes Público y Privado no usan el dosímetro personal en las áreas de Quirófano, Unidad Terapia Intensiva, Neonatología y Sala de Internación.

## I - INTRODUCCIÓN<sup>1</sup>

El 8 de noviembre de 1895, experimentando con un tubo de rayos catódicos generados en un tubo Crooke, el doctor W.C. Roentgen de la Universidad de Wurzburg de Alemania, descubrió un “nuevo rayo”, al que denominó rayos X, porque en esa época era una forma de energía desconocida. Al cubrir con papel fotográfico el tubo de Crookes para visualizar mejor los efectos de los rayos catódicos observó a unos pies de distancia unas placas de platino cianida de bario que fluorescían. Estas experiencias fueron el origen de los tubos de rayos catódicos, comenzando la etapa de trabajo con radiaciones ionizantes y con elementos radiactivos sin conocer cuáles eran sus efectos biológicos.

La radiación ionizante es un tipo de energía liberada por los átomos en forma de ondas electromagnéticas (rayos gamma o rayos X) o partículas (partículas alfa y beta o neutrones).

Las radiaciones constituyen un fenómeno físico que implica el transporte de energía: cuando la energía de una radiación interactúa con los tejidos de un paciente puede generarse información sobre la estructura de los mismos que, generalmente, es recogida como imagen por un elemento sensible, lo que permite efectuar un diagnóstico.

La exposición a la radiación puede ser interna o externa, y puede tener lugar por diferentes vías.

La exposición interna a la radiación ionizante se produce cuando un radionúclido es inhalado, ingerido o entra de algún otro modo en el torrente sanguíneo (por ejemplo, inyecciones o heridas). La exposición interna cesa cuando el radionúclido se elimina del cuerpo, ya sea espontáneamente (por ejemplo, en los excrementos) o gracias a un tratamiento.

La exposición a la radiación ionizante también puede resultar de la irradiación externa (por ejemplo, la exposición médica a los rayos X). La irradiación externa se detiene cuando la fuente de radiación está blindada o la persona sale del campo de irradiación.

La contaminación externa se puede producir cuando el material radiactivo presente en el aire (polvo, líquidos, aerosoles) se deposita sobre la piel o la ropa. Generalmente, este tipo de material radiactivo puede eliminarse del organismo por simple lavado.

---

<sup>1</sup> Charles A. Jacobi. Manual de Tecnología Radiológica. Cuarta edición; Editorial EL ATENEIO, 1980, 1:3.

Un año mas tarde de su descubrimiento (1896) se comenzaron a observar los efectos biologicos por radiación ionizante.

A los 6 meses de comenzarse a utilizar con fines diagnosticos se reportaron severos casos de eritemas,dermatitis y alopecia por los operadores del equipo de rayos X y pacientes.

En el 1902 se reporto el primer caso de cáncer de piel.

En el 1915 se publican las primeras recomendaciones de protección radiológica por British Roentgen Society.

En el 1922 la American Roentgen Ray Society emite recomendaciones similares.

En 1925 surge la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP).

Desde el inicio de las aplicaciones médicas e industriales de las fuentes de radiaciones ionizantes se hizo necesario definir magnitudes y unidades que permitieran caracterizar, de manera cuantitativa la radiación y sus elementos. Donde la protección radiológica se empezó a utilizar luego de que se manifestara en los trabajadores que están expuestos a fuentes de radiaciones ionizantes algún tipo de cáncer, por lo que se vio la necesidad de establecer ciertas normas de protección radiológica por los efectos biológicos que producían.

El personal que trabaja con fuentes de radiaciones ionizantes, algunos miembros de la población y los pacientes que son sometidos a procedimientos radiológicos, están expuestos a los riesgos de las mismas. Se minimizan estos riesgos totalmente, pero es factible controlarlos y mantenerlos dentro de valores aceptables mediante la aplicación de principios de protección radiológica.

A través de mi desempeño como Técnica Radióloga he observado que existe una serie de irregularidades sobre el uso del dosímetro personal, como por ejemplo:

- El Técnico Radiólogo no utiliza el dosímetro personal porque no confía en los informes de dosimetría.
- El Técnico Radiólogo no sabe qué función tiene el dosímetro personal.
- La mala utilización que le da el Técnico Radiólogo por falta de conocimiento.

El presente estudio de investigación, se ha desarrollado tomando en cuenta la necesidad y la ponderación del uso del dosímetro personal en los trabajadores del área de Diagnóstico por Imágenes.

El trabajo de Investigación se realizó en dos servicios de Diagnóstico por Imágenes, uno Público y otro Privado, donde se evaluaron los conocimientos que poseen los Técnicos Radiólogos sobre el uso y mal uso de la dosimetría personal.

La finalidad de esta investigación es evaluar la ponderación que tiene el Técnico Radiólogo sobre el uso o no del dosímetro personal en los servicios de Diagnóstico por Imágenes Público y Privado. Es significativo indagar para poder identificar el conocimiento que tienen del mismo, se pueden dar sugerencias para que se tomen medidas más eficaces en cuanto a su uso y que el profesional pueda tomar conciencia del daño que le puede producir a su salud a causa de los efectos de la radiación ionizante a corto y largo plazo.

Además, el monitoreo a los Técnicos Radiólogos es la herramienta fundamental que contribuye a alcanzar los objetivos de la protección radiológica ocupacional, esto es, asegurar que en condiciones normales de trabajo no se superen los límites de dosis y reducir las exposiciones al nivel más bajo que razonablemente pueda alcanzarse.

## II - JUSTIFICACIÓN

En el área de Diagnóstico por Imágenes, el Técnico Radiólogo se encuentra expuesto a fuentes generadoras de radiación ionizante. Por eso, es importante la dosimetría personal, cuyo objetivo es detectar y cuantificar la radiación absorbida por el Técnico Radiólogo.

La importancia de este trabajo, reside en que los Técnicos Radiólogos sean responsables de su propia salud y de los riesgos que asumen por la falta de conocimiento e imprudencia sobre el no uso de su dosímetro personal.

La función más importante de este estudio es explicar el por qué, el cómo, él cuándo y dónde ocurre el fenómeno y las diferentes manifestaciones que permiten describir como se origina, evoluciona y afecta al técnico radiólogo.

El estudio se realizó con el objetivo de evaluar el uso del dosímetro personal con el que cuenta el Técnico Radiólogo durante su jornada laboral en las diferentes áreas donde se desempeña. Por este motivo se tomaron como referencia dos servicios de Diagnóstico por Imágenes, uno Público y otro Privado, de la ciudad de Casilda, donde los Técnicos Radiólogos de cada establecimiento se desempeña en especialidades del Diagnóstico por Imágenes (Radiología convencional directa, Contrastada, Mamografía, Tomografía Axial Computada, Quirófano, Unidad Terapia Intensiva, Neonatología y Sala de Internación).

Para el Técnico Radiólogo es fundamental tener conocimientos sobre el uso del dosímetro personal y así evitar o disminuir los factores que pueden afectan su salud.

### III - SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

Los riesgos de quienes trabajan con fuentes de radiación ionizante constituyen un tema que cada vez cobra mayor importancia.

El nivel de exposición que tiene los Técnicos Radiólogos depende del tipo y la frecuencia de actividad para la cual son contratados. La determinación de la cantidad de radiación que reciben requiere un programa de control de la radiación profesional. La monitorización de la radiación profesional se refiere a los procedimientos instituidos para estimar la cantidad de radiación recibida por los individuos que trabajan en un ambiente de radiación.

La mayor parte del personal de diagnóstico por imagen debe ser controlada; sin embargo, por lo general no es necesario vigilar a secretaria y personal de oficina. Además, por lo general tampoco es necesario supervisar al personal de quirófano, excepto quizás a los que participan periódicamente en cistoscopias y fluoroscopia de brazo en C.

El monitor profesional de radiación simplemente mide la cantidad de radiación a la que ha sido expuesto y, por tanto, es simplemente un indicador de la exposición del portador. Hay básicamente tres tipos de monitores personales que se usan en radiología diagnóstica: dosímetro personal, dosímetro de termoluminiscencia (TLD, thermoluminescence dosimeters) y dosímetro de luminiscencia (OSL, optially stimulated luminescence).

Los dosímetros fotográficos son muy utilizados porque son baratos y exactos, pero hay que cambiarlos cada mes, son los más utilizados en radiología convencional. Los dosímetros OSL son muy sensibles y exactos y pueden ser utilizados hasta 1 año. Los dosímetros TLD se pueden llevar durante intervalos superiores a 1 año. Para un uso general, el Técnico Radiólogo debería llevar un dosímetro personal en el tórax o en la cintura; sin embargo, durante la fluoroscopia, el monitor se lleva sobre el cuello fuera del delantal protector.

Es importante una revisión del personal registrado; un procedimiento útil es colgar el informe de registro de radiación más reciente para que todos lo puedan ver. El jefe de radiología debe asegurarse de que los técnicos entienden la naturaleza y magnitud de su exposición anual.

A través de dicha información, el personal de radiología se asegurara de que su exposición profesional es mínima, generalmente menor del 10% de la dosis límite (DL). Los procedimientos para el uso correcto del dosímetro son:

1. Los dosímetros deben llevarse puestos durante toda la jornada laboral y es conveniente colocarlos después de la misma en el tablero correspondiente, dispuesto para ser guardados y protegidos de posibles radiaciones.
2. El dosímetro debe colocarse en un lugar representativo de la parte más expuesta del cuerpo, generalmente en el tórax.
3. Un dosímetro personal nunca debe ser deliberadamente expuesto cuando no lo lleva puesto el usuario.
4. En el caso de que un dosímetro sea irradiado accidentalmente, inmediatamente debe darse cuenta al encargado para que dicho dosímetro sea reemplazado.
5. Los dosímetros no deben utilizarse durante exposiciones no-ocupacionales, tales como las radiografías tomadas al mismo usuario.
6. El dosímetro asignado a una persona no debe ser utilizado por ninguna otra persona hasta que se haya notificado al encargado para que registre el cambio y que se realice el cambio del film correspondiente.
7. Cabe recordar que el dosímetro personal es un instrumento de medición y que como tal debe ser objeto de ciertos cuidados, de no hacerlo pueden alterarse los resultados.
8. Para la mayor eficacia de la dosimetría es necesario que los usuarios se responsabilicen por el cuidado y buen uso del dosímetro, y que se realice el cambio en las fechas preestablecidas.

El mal uso del dosímetro personal registrará una exposición falsamente bajo y no indicará una exposición de riesgo para las partes del cuerpo sin protección.

Por las razones anteriormente expuestas, se evidenció la necesidad de realizar un estudio con el fin de definir el grado de ponderación que ocupa el uso de la dosimetría personal en los Técnicos Radiólogos y de ser necesario implementar una educación más apropiada, más segura y actualizada para los Técnicos Radiólogos, sobre el uso del dosímetro.

Este estudio se llevó a cabo en dos servicios de Diagnóstico por Imágenes de la ciudad de Casilda, uno es público y el otro es privado.

El servicio de Diagnóstico por Imágenes privado no posee internación: la labor del Técnico Radiólogo se limita a radiología convencional directa y contrastada y estudios de mamografía.

En el servicio de Diagnóstico por Imágenes público además de radiología convencional Directa y Contrastada y estudios de Mamografía. El Técnico Radiólogo se

desempeña en la Radiología Móvil en las áreas de Quirófano, Unidad de Terapia Intensiva (UTI), Neonatología y Sala de Internación.

A partir de lo expuesto se plantea el siguiente problema de investigación:

**¿Cuán ponderado es el uso de la dosimetría personal por el Técnico Radiólogo de dos servicios de Diagnóstico por Imágenes, uno Público y otro Privado, de la ciudad de Casilda?**

#### **IV - HIPÓTESIS**

En el área de diagnóstico por imagen el Técnico Radiólogo no pondera correctamente las consecuencias que puede traer el mal uso del dosímetro personal, afectando directamente su calidad de vida.

## **V - OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL:**

Evaluar cuán ponderado es el uso de la dosimetría personal por el Técnico Radiólogo de dos servicios de Diagnóstico por Imágenes, uno Público y otro Privado, de la ciudad de Casilda

### **OBJETIVO ESPECÍFICO:**

1-Determinar cuán ponderado es el uso de la dosimetría personal por el Técnico Radiólogo de dos servicios de Diagnóstico por Imágenes, uno Público y otro Privado, de la ciudad de Casilda.

2-Comparar la información brindada por los Técnicos Radiólogos de dos servicios de Diagnóstico por Imágenes, uno Público y otro Privado, de la ciudad de Casilda.

## VI - ESTADO DEL ARTE

### 1. “ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DEL DAÑO GENÉTICO-AMBIENTAL DE LAS RADIACIONES IONIZANTES EN EL PERSONAL OCUPACIONALMENTE EXPUESTOS DEL HOSPITAL CIVIL DE BELÉN DE GUADALAJARA, JAL. 2000-2001”<sup>2</sup>

Se realizó un estudio de campo en el personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes (POE) presenta un riesgo potencial mayor y constante de desarrollar disfunciones biológicas. Por tal motivo, el POE se vio obligado a utilizar métodos de prevención, evaluación y control de riesgo ocupacional, el cual es llevado a cabo por sistemas de dosimetría física, el cual no en todos los casos es utilizado. En la actualidad, el análisis de aberraciones cromosómicas estructurales y micronúcleos en linfocitos de sangre periférica, poseen mayor importancia en el biomonitoreo. Esto debido a que la radiación en exposiciones crónicas, puede manifestar efectos biológicos y en particular daño al material genético, fenómenos que se asocian con carcinogénesis.

Para ello, el autor utilizó una técnica alterna conocida como prueba de detección de micronúcleos en mucosa bucal, método rápido que evalúa el efecto sistemático e inmediato de agentes genotóxicos, el cual no se ha utilizado para niveles bajos de exposición a radiación y en virtud de las capacidades del análisis de aberraciones cromosómicas, estos dos se probaron como sistemas alternativos para biomonitoreo de rutina en POE. Para evaluar la presencia basal de micronúcleos en mucosa bucal y la frecuencia de aberraciones cromosómicas tanto espontáneas como inducidas (a 15 GY), colaboraron 13 individuos del POE con sus respectivos controles, pareados por edad y sexo. A los cuales, se les realizaron frotis para observar micronúcleos en mucosa donde se analizaron 2000 células por cada individuo. Además, para el estudio cromosómico, a cada individuo le realizo cultivos celulares, analizándose 230 células en mitosis por cultivo basal y 230 por cultivo radiado (considerando a las aberraciones más importantes a las traslocaciones, cromosomas dicéntricos y anillos). Todo esto tanto en POE como en controles.

En los resultados obtenidos, la prueba de micronúcleos de mucosa fue capaz de detectar diferencias significativas entre controles y POE con registros de dosimetría física bajos. Al igual que el estudio de aberraciones cromosómicas, que en muestras basales presentó significancia entre los dos grupos. No así con las muestras radiadas,

---

<sup>2</sup> Ceja Andrade Israel. (2003). “Análisis y determinación del daño genético-ambiental de las radiaciones ionizantes en el personal ocupacionalmente expuestos del Hospital Civil e Belén de Guadalajara”. Tesis (Maestría en Ciencias de la Salud Ambiental). Universidad de Guadalajara. CUCBA. México.

donde las aberraciones cromosómicas resultaron ser muy similares entre el grupo control y el POE. La prueba de micronúcleos presentó una moderada sensibilidad (0.75) y baja especificidad (0.50). En el caso del estudio cromosómico, también presentó una moderada sensibilidad (0.75) pero una adecuada especificidad (0.91).

Por lo anterior, es posible considerar al estudio cromosómico como un buen sistema anual de vigilancia epidemiológica, ya que daños cromosómicos provocados por exposiciones crónicas o agudas, se pueden seguir presentando hasta 7 años después. En cuanto a la prueba de micronúcleos, es factible utilizarse cuando se sospeche de una exposición aguda (sobre exposición y/o un accidente radiológico), esto debido a que el ciclo de vida de las células de mucosa bucal es condicionado por los hábitos alimenticios y de higiene, que se reduce a un par de meses.

Estos resultados permiten llegar a la conclusión, de que ambos métodos fueron capaces de detectar daño en bajas dosis de exposición, se discuten implicaciones favorables para su implementación de rutina como alternativa de biomonitoreo en POE no posea ningún tipo de control dosimétrico, debido a la alta frecuencia de estos biomarcadores, son claros indicadores de riesgo de cáncer, lo cual debe tener una aplicación específica en las prácticas epidemiológicas y en las políticas de la salud ambiental.

## 2. “ESTUDIO DE LOS RIESGOS LABORALES BIOLÓGICOS Y FÍSICOS, ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL EN MÉDICOS Y TRABAJADORES DE LA SALUD EN EL ÁREA DE IMAGENOLOGÍA DEL HOSPITAL REGIONAL IESS DR. TMC”<sup>3</sup>

La salud y el trabajo son dos aspectos fundamentales en nuestra vida que están unidos y se influyen mutuamente. Los riesgos laborales y enfermedades profesionales ocasionadas por la exposición a las radiaciones ionizantes se originan muchas veces debido a la deficiencia de factores de seguridad y tecnología, como son el uso inadecuado de equipos e instrumental, así como por desconocimiento de los riesgos biológicos y físicos a los que están expuestos todos los profesionales de la salud que trabajan en áreas de Imagenología, Medicina Nuclear, Radioterapia y Radiodiagnóstico. El objetivo del presente trabajo fue Identificar los riesgos biológicos y físicos asociados a la práctica profesional en el área de Imagenología, mediante la

---

<sup>3</sup> DIGNA ALEXANDRA YELA TAPIA. (2011). “Estudio de los riesgos laborales biológicos y físicos, elementos de protección personal en médicos y trabajadores de la salud en el área de Imagenología del hospital regional IESS Dr. TMC”. Universidad Estatal de Milagro Instituto de Postgrado y Educación Continua. Guayas, Ecuador.

elaboración y aplicación de registros por medio de la encuesta para así contribuir a mejorar la calidad de trabajo en los profesionales. El alcance de la investigación es descriptivo, pues él pretende determinar la incidencia de riesgo profesional en los Médicos Radiólogos y trabajadores de la salud en el Departamento de Imagenología del Hospital Regional del IESS Dr. TEODORO MALDONADO CARBO, en el periodo Noviembre 2010 a Abril 2011. Los rayos X son los principales representantes de los riesgos físicos. En el área de Imagenología queda ampliamente demostrado que este tipo de riesgo es un peligro latente de magnitudes debido a que la mayoría de los médicos radiólogos y trabajadores de la salud dedicados a esta área tiene acceso a un equipo de rayos X. Un 95 % de los médicos y trabajadores encuestados tienen acceso a un equipo de rayos X, se determinó que el 90 % de quienes tienen acceso a un equipo de rayos X usa elementos de protección, finalmente frente a la pregunta de si se realiza examen médico periódico preventivo, un 34,4 % respondió que sí. Se notó una preocupación por usar elementos de protección, pero se aprecia que esto muchas veces es solo rutina no utilizando conscientemente estos elementos. Además, muchas veces el médico debe trabajar sólo, por no contar con ayudante en sus labores.

### 3. “VIGILANCIA MEDICA EN TRABAJADORES EXPUESTO A RADIACIONES IONIZANTES”.<sup>4</sup>

Desde el inicio del siglo pasado las radiaciones ionizantes han sido utilizadas en el área médica, tanto en diagnóstico como el tratamiento de ciertas patologías. Actualmente la irradiación médica se constituye en la principal fuente de exposición en el ser humano, conjuntamente con la exposición debida a la utilización de este tipo de radiación con fines industriales o de obtención de energía. Los efectos biológicos radioinducidos en el ser humano son el resultado de su interacción con las macromoléculas biológicas, afectando sobre todo al ADN, que se constituye en su blanco principal.

El presente esfuerzo propone un adecuado plan de vigilancia médica en los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes, en el cual además de las valoraciones clínicas y de laboratorio rutinarias, se incluya a los estudios citogenéticos realizados en linfocitos obtenidos de sangre periférica, como un válido indicador biológico del efecto

---

<sup>4</sup> Dr. Ronald Cueva Viteri. (2008). “Vigilancia Médica en trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes”. Tesis para la obtención de la maestría internacional de seguridad, salud y medio ambiente. Universidad San Francisco de Quito. Ecuador.

deletéreo que este tipo de riesgo físico tiene sobre el organismo humano y del grado de exposición.

Al finalizar este modelo de vigilancia médico específico para radiaciones ionizantes y luego de revisar como se ha venido llevando la misma por parte de los organismo encargados de precautelar la salud de los trabajadores ocupacionalmente expuestos podemos concluir que realmente en nuestro país este es un aspecto que no se ha manejado de forma adecuada ya que ni la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica (CEEA) ni el Departamento de Riesgo del Trabajo han podido establecer un protocolo de vigilancia específica que sea aplicable en todos los sectores en los que profesionalmente puede existir trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes; esto se debe a que el marco legal no se ha actualizado desde hace mucho tiempo y permanece sin variación hasta la actualidad a pesar de los esfuerzos de ciertos sectores involucrados para que se actualice, sobre todo en reglamentar de una manera más clara los aspectos de control del estado de salud del personal que trabaja con radiaciones, para que cumpla con objetivo preventivista.

#### 4. “EXPOSICION OCUPACIONAL EN EL PERSONAL DE RADIOLOGIA”<sup>5</sup>

Este trabajo tiene como objetivo estudiar el efecto de la radiación generada a partir de la práctica de la especialidad de radiología diagnóstico sobre el personal ocupacionalmente expuesto del Hospital Samco de Villa Constitución.

Desarrollamos las nociones básicas de radiación, exposición, resultados y consecuencias derivadas de esta peligrosa energía que puede ocasionar daños perjudiciales sobre la salud humana. Las consecuencias que se midieron a partir de la observación y el estudio de distintas variables observadas en el personal ocupacionalmente expuesto de la población del Hospital Samco.

Se evaluó, el uso de los elementos de radioprotección de los dosímetros personales, la información arrojada de estos últimos y las entrevistas personales realizadas a los actores participantes del estudio. Concluyendo que la información y las prácticas en material de prevención distan de ser las aconsejadas y los resultados obtenidos denotan contradicciones con las observaciones realizadas por la investigación.

---

<sup>5</sup> Lic. Ariel Sánchez. “Exposición ocupacional en el personal de radiología”. (2011). Universidad Abierta Interamericana. Facultad de Medicina y Ciencia de la Salud. Licenciatura en Producción de Bioimágenes. Sede Regional Rosario, Argentina.

## 5. “EFECTO LOCALES SOBRE LOS TEJIDOS: CATARATAS”<sup>6</sup>

En 1929, E.O. Lawrence, de la Universidad de California, desarrollo el primer ciclotrón, una máquina de 12,7 centímetro de diámetro capaz de acelerar partículas cargadas con alta energía. Las partículas cargadas fueron usadas como “balas” disparadas contra los núcleos de átomos diana en el estudio de la estructura nuclear. En 1940, cada departamento de física de las universidades de cierta importancia había construido su propio ciclotrón y se encontraba inmerso en lo que ahora se conoce como física de alta energía.

Los ciclotrones modernos se usan principalmente para producir radionucleídos que son utilizados en medicina nuclear, especialmente el fluor-18 para la tomografía por emisión de positrones (PET, positron emission tomography). Los mayores aceleradores de partículas del mundo están localizados en el Argonne National Laboratory en Estados Unidos y en CERN en Suiza. Estos aceleradores se utilizan para descubrir la estructura más fina y última de la materia y para describir exactamente que paso en el momento de la creación del universo.

Los primeros ciclotrones se localizaban en una habitación y un rayo de partículas de alta energía era extraído a través de un tubo y conducido y focalizado por electroimanes hacia el material diana en la habitación adyacente. En esos tiempos no se disponía de sofisticados equipos electrónicos para controlar ese rayo de alta energía.

Los físicos de ciclotrón utilizaban una herramienta de los radiólogos, la pantalla fluorescente, como ayuda en la localización del rayo de alta energía. Por desgracia, con este hecho dichos físicos recibieron alta dosis de radiación sobre el cristalino, ya que tenían que mirar directamente al rayo.

En 1949 apareció el primer artículo que informaba de cataratas en los físicos del ciclotrón. En 1960 se comunicaron varios centenares de casos de cataratas incluidas por radiación. Esto fue particularmente trágico por el hecho de que había pocos físicos en alta energía.

Las cataratas inducidas por radiación se producen en el polo posterior del cristalino.

Basándose en estas observaciones y en la experimentación animal, se pueden perfilar varias conclusiones respecto a las cataratas inducidas por radiación. La

---

<sup>6</sup> Stewart Bushong. (2010). Manual de Radiología para Técnicos: Física, Biología Y protección Radiológica. “Efectos Locales sobre los tejidos: Cataratas” Novena edición; Editorial ELSEVIER, 36:551.

radiosensibilidad del cristalino ocular depende de la edad. Cuanto mayor es el individuo, mayor es el efecto de la radiación y más corto el periodo de latencia.

En los seres humanos se han observado periodos de latencia que varían de 5 a 30 años, y el periodo medio de latencia es de aproximadamente 15 años. La radiación de alta Let, como es la radiación de neutrones y de protones, tiene un alto efecto biológico relativo (RBE, relative biologic effectiveness) para producción de cataratas.

## 6. “ACORTAMIENTO DE ESPERANZA DE VIDA”<sup>7</sup>

Se han realizado muchos experimentos en animales tanto tras exposiciones agudas como crónicas que demuestran que los especímenes irradiados mueren jóvenes.

El peor riesgo es el de ser hombre en vez de mujer. Mientras que la media de acortamiento de la esperanza de vida causada por accidentes laborales es de 74 días, para las personas que trabajan con radiación es solo de 12 días.

El acortamiento de esperanza de vida inducido por la radiación no es específico, es decir, no tiene enfermedades características asociadas, ni incluye efectos malignos tardíos. Se trata simplemente de un envejecimiento prematuro acelerado y muerte.

Un investigador ha evaluado las partes de defunción de los técnicos radiólogos que trabajaron con equipos de rayos X durante la segunda guerra mundial. Estos sistemas de imagen tenían un diseño deficiente y no estaban bien protegidos, por lo que los técnicos recibían exposiciones superiores a lo normal. Se estudiaron 7.000 de estos técnicos y no se observaron efectos debido a la radiación.

Actualmente está en marcha una investigación acerca de los efectos que ejerce sobre la salud la exposición a la radiación de los técnicos radiólogos norteamericanos. Se trata de un estudio por correspondencia que incluye diversas condiciones laborales relacionadas de aproximadamente 150.000 individuos, que tardara bastantes años en completarse. De momento, los primeros trabajos no muestran efectos.

Los radiólogos norteamericanos son un grupo que se ha estudiado bastante extensamente, y los primeros radiólogos tuvieron aparentemente un acortamiento de esperanza de vida. Estos estudios tienen numerosos defectos, el más insignificante de los cuales es su naturaleza retrospectiva. Los radiólogos que murieron a principios de la década de 1930 eran aproximadamente 5 años más jóvenes que la edad media de

---

<sup>7</sup> Stewart Bushong. (2010). Manual de Radiología para Técnicos: Física, Biología Y protección Radiológica. “Acortamiento de la Esperanza de Vida” Novena edición; Editorial ELSEVIER, 36:552.

fallecimiento de la población general. Sin embargo, esta diferencia en la edad de fallecimiento se ha reducido a cero desde 1965.

#### 7. “EFECTOS TARDIOS DE LA RADIACION: RADIOLOGOS”<sup>8</sup>

Durante la segunda década de la radiología empezaron a aparecer casos de anemia perniciosa y leucemia en los radiólogos. A principio de la década de 1940, varios investigadores revisaron la incidencia de leucemia en los radiólogos norteamericanos, que resulto alarmantemente alta.

Estos primeros radiólogos trabajaron sin los modernos sistemas de protección radiológica, muchos de los cuales sirven tanto para los radioterapeutas como para los radiólogos.

Se ha estimado que algunos de estos primeros radiólogos recibieron dosis que excedían los 100 rad/año (1 Gy / año). Generalmente, los radiólogos norteamericanos no muestran una elevada incidencia de leucemia comparados con otras especialidades médicas.

Un estudio bastante exhaustivo sobre la mortalidad de los radiólogos en Gran Bretaña que cubría el periodo comprendido entre principios de siglo y 1960 no mostro un riesgo elevado de leucemia. Se desconocen las razones de estas diferencias experimentadas entre los radiólogos americanos y los británicos.

Los estudios sobre la leucemia inducida por radiación en los técnicos radiólogos americanos demuestran claramente que no existe ninguna evidencia de efectos producidos por la radiación.

---

<sup>8</sup> Stewart Bushong. (2010). Manual de Radiología para Técnicos: Física, Biología Y protección Radiológica. “Efecto Tardios de la Radiación: Radiólogos” Novena edición; Editorial ELSEVIER, 36:557.

## VII - MARCO TEÓRICO

### EFFECTOS ADVERSOS DE LA RADIACIÓN <sup>9</sup>

La radiación usada en radiagnóstico es potencialmente peligrosa.

La radiobiología es el estudio de la acción de las radiaciones ionizantes sobre la materia viva. Los fenómenos que se manifiesten en el cuerpo humano como patología de las radiaciones ionizantes son consecuencia de alteraciones fisicoquímicas provocadas por la absorción de energía radiante por parte del tejido con el que interactúa. Como respuesta a esa energía entregada aparecen los efectos biológicos. La repuesta biológica dependerán de diversos factores como: dosis, tiempo de exposición, tipo de radiación, el área expuesta y, las características biológicas de la misma.

Los efectos que pueden producir las radiaciones pueden ser clasificados en dos grandes categorías: efectos estocásticos y efectos no estocásticos o determinísticos.

#### *Efectos estocásticos*

Los efectos estocásticos son aquellos en los cuales la probabilidad de que se produzca el efecto es función de la dosis, mientras que la severidad del mismo es independiente de la dosis, y no tienen umbral. Los efectos estocásticos que se producen como consecuencia del daño sobre una célula o un pequeño número de células. Son efectos probabilidad como la inducción a neoplasias, acortamiento de vida, mutaciones genéticas. Ejemplos de efectos estocásticos son los efectos carcinogénicos y los efectos hereditarios de las radiaciones ionizantes.

#### *Efectos no estocásticos o determinísticos*

Los efectos determinísticos son aquellos en los que la gravedad del efecto y su frecuencia varían en función de la dosis. La relación dosis-efecto tiene umbral. El 100% de frecuencia de un efecto determinista se logra con una dosis suficiente como para alcanzar el umbral de severidad en toda la población. La dosis umbral es la dosis necesaria para provocar el efecto en por lo menos el 1 – 5% de los individuos expuestos. Un ejemplo es la repuesta cutánea tal como eritema, depilación, descamación, cataratas, daño hematopoyético, fibrosis. El umbral para determinados efectos se mide en Gray para eritema el umbral es de 2 a 3 Gray, para cataratas de 2 Gray, para plaquetopenia (disminución de las plaquetas sanguíneas) de 0,25 Gray.

---

<sup>9</sup> Tentoni Ubaldo. Bases de Radiofísica. Interacción entre rayos X y materia radioprotección. FAARDIT, 2010, 8:198.

## FENÓMENO DE LA ACCIÓN DE LA RADIACIÓN SOBRE LA CÉLULA.<sup>10</sup>

*Radiolisis del agua:* la absorción de energía por una molécula de agua provoca la salida de un electrón y la formación de un anión positivo. Este ion será captado por otra molécula de agua y se formara otro ion negativo. Esto dos iones son inestables y se rompe formando otro iones y radicales libre.

La radiolisis del agua tendría como consecuencias la formación de radicales libres que son de vida media muy corta y altamente reactivos tendiendo a combinarse inmediatamente pudiendo resultar la formación de agua o la formación de peróxidos de hidrogeno o agua oxigenada, compuesto este de alto poder oxidante y por lo tanto podría causar daño a nivel de mitocondrias o también combinarse estos radicales libres con macromoléculas biológicas.

*Acción directa de la radiación:* actúa sobre el núcleo que contiene el material genético específicamente sobre el ácido desoxirribonucleico (ADN). El ADN participa en la reproducción celular. Dirige y coordina todas las funciones celulares y es el responsables de la trasmisión hereditaria de los caracteres genéticos.

*Mutaciones genéticas:* las mutaciones se refiere a cambios en la información genética del ADN. Según los genetistas en cada generación surgen un cierto número de mutaciones espontaneas que pueden alterarse por distintos factores como virus, agentes químicos y físicos y estas mutaciones inducidas también pueden transmitirse a generaciones futuras. Si la célula es somática, las consecuencias van a ser solamente para el individuo, pero si se trata de una célula germinal (óvulos y espermatozoides) las consecuencias son para generaciones futuras.

## EFECTO BIOLÓGICO DE LA RADIACIÓN IONIZANTE<sup>11</sup>

Los efectos biológicos de la radiación son las consecuencias de la acción de una radiación ionizante sobre los tejidos vivos. La radiación transfiere energía a las moléculas de las células de los tejidos. Como resultado de esta interacción las funciones de la célula pueden deteriorarse en forma temporal o permanentemente y ocasionar incluso la muerte de las mismas. La gravedad de la lesión depende del tipo de radiación, de la dosis absorbida, de la velocidad de absorción y de la sensibilidad del tejido frente

---

<sup>10</sup> Tentoni Ubaldo. Bases de Radiofísica. Interacción entre rayos X y materia radioprotección. FAARDIT, 2010, 8:199-200.

<sup>11</sup> Tentoni Ubaldo. Bases de Radiofísica. Interacción entre rayos X y materia radioprotección. Efecto biológico de las radiaciones ionizantes. FAARDIT, 2010, 8: 200-2003.

a la radiación. Los efectos biológicos de una misma forma de radiación varían de forma considerable según el tiempo de exposición. Los efectos que aparecen tras una irradiación rápida se deben a la muerte de las células. Una exposición prolongada se tolera mejor, si la cantidad es suficiente puede causar trastornos graves, la recuperación será lenta e incluso imposible.

La radiación aguda nunca se ven con las técnicas de radiología diagnóstico. En los primeros tiempos de la radiología algunos precursores murieron por efectos diferidos, pero la dosis de entonces sea extraordinariamente alta.

### EFFECTOS PRECOCES DE LA RADIACIÓN.

Para producir una respuesta a la radiación en los seres humanos en un plazo de unos días o unas semanas, la dosis recibida debe ser importante. Estos efectos precoces de la exposición a la radiación no se alcanzan nunca en las técnicas de radiología diagnóstica modernas. Hace muchos años, sin embargo, los efectos rápidos de la radiación eran respuestas más comúnmente observadas en los radiólogos, los técnicos e incluso algunos pacientes sometidos a exámenes por rayos X.

### LETALIDAD DE LA RADIACIÓN AGUDA<sup>12</sup>

Los efectos precoces de la radiación se han estudiado completamente en los animales en laboratorio. Aunque también se dispone datos obtenidos de las observaciones en seres humanos.

La muerte es, evidentemente, la respuesta más devastadora resultante en el organismo humano por causa de exposición a radiaciones. No se han descritos casos de muerte tras exposición a rayos X en el rango diagnóstico.

La secuencia de acontecimiento que sigue a una exposición radioactiva de alto nivel, capaz de producir la muerte en unos días o semanas, se denomina síndrome de radiación aguda. Existen tres síndromes independientes relacionados con la dosis y que obedecen a cursos de evolución bien distintos: se conocen como:

1. Muerte hematológica.
2. Muerte gastrointestinal.
3. Muerte del sistema nervioso central.

---

<sup>12</sup>Stewart Bushong. Manual de Radiología para Técnicos: Física, Biología Y protección Radiológica. Efectos inmediatos de la radiación. Novena edición; Editorial ELSEVIER, 2010, 35:535-537.

### *Síndrome prodrómico, periodo de latencia y enfermedad manifiesta.*

Este síndrome consiste en los síntomas clínicos agudos que se producen al cabo de unas horas de la exposición y se prolonga durante uno o dos días. Después del síndrome prodrómico tiene lugar un periodo de latencia, durante el cual no se aprecian signos visibles en el sujeto.

La gravedad de los síntomas está relacionada con la dosis que, cuando es superior a 1000rad (10Gy), provoca manifestaciones violentas en el paciente. Para dosis todavía mayores de radiación se acorta la duración de síndrome prodrómico, hasta el punto de que se dificulta enormemente la distinción entre esta etapa y la de enfermedad manifiesta.

Después del periodo de enfermedad por radiación inicial se produce un tiempo de aparente bienestar. En el periodo de latencia no se aprecian signos de enfermedad por radiación. Este periodo se prolonga desde unas horas o incluso menos (para dosis superiores a 5000 rad) a varias semanas (para dosis de 100 a 500rad). El periodo de latencia suele confundirse con el de una recuperación tras la exposición de dosis de radiación moderadas. Sin embargo, la realidad puede ser muy distinta, y suele ocultar la acusada respuesta de la radiación que se producirá después. El síndrome prodrómico y el periodo de latencia conducen a la manifestación clara de la enfermedad, con sus síndromes hematológico, gastrointestinal y del sistema nervioso central acompañantes.

*Síndrome Hematológico*, la dosis de radiación comprendida en el intervalo de aproximadamente 200 a 1000 rad se produce el llamado síndrome hematológico. El sujeto sufre inicialmente síntomas leves propios del síndrome prodrómico, que pueden aparecer al cabo de unas horas y prolongarse durante varios días. El periodo de latencia posterior puede extenderse hasta cuatro semanas, y se caracteriza por un sentimiento general de bienestar. No se aprecian en el mismo signo de enfermedad, pero durante este tiempo descende el número de células presente en el flujo sanguíneo periférico.

El periodo de enfermedad manifiesta se caracteriza por posibles vómitos, diarrea leve, malestar general, alergia y fiebre. En el síndrome hematológico se produce una reducción del número de glóbulos blancos, glóbulos rojos y plaquetas en la sangre. Cada uno de estos tipos de células siguen patrones de depilación característicos. Si la dosis no es letal, la recuperación se inicia al cabo de 2 a 4 semanas, si bien no puede complementarse hasta que transcurran 6 meses.

Cuando el daño por radiación alcanza una gravedad suficiente, la disminución de glóbulos rojos en la sangre se prolonga hasta que se anulen totalmente los mecanismos de defensa frente a las infecciones. Justo antes de la muerte, se presentarán

cuadros graves hemorragias y deshidratación. La muerte se producirá por infección generalizada, desequilibrio electrolítico y deshidratación.

*Síndrome gastrointestinal*, después de recibir dosis de radiación extendidas aproximadamente entre 1000 y 5000 rad (de 10 a 50 Gy) aparece el síndrome gastrointestinal (GI). Los síntomas prodrómicos de vómitos y diarrea tienen lugar al cabo de unas horas de exposición y persisten durante varias horas e incluso un día. A ello sigue un periodo de latencia de 3 a 5 días durante el cual desaparecen los síntomas.

La fase de la enfermedad manifiesta comienza con una segunda oleada de náuseas y vómitos, seguida de diarrea. El sujeto experimenta pérdida de apetito (anorexia) y, en ocasiones, letárgica. La diarrea persiste y se agrava con el tiempo, dando lugar a heces primero sueltas y después acuosas y sanguinolentas. La terapia de apoyo es incapaz de evitar el rápido avance de los síntomas que, en última instancia, producen la muerte al cabo de 4 a 10 días de exposición. El deceso se debe principalmente a lesiones graves en las células que recubren los intestinos.

Síndrome del sistema nervioso central, después de una dosis de radiación que supere aproximadamente los 5000 rad (50 Gy), aparecen una serie de signos y síntomas que desembocan en la muerte en un plazo comprendido entre unas horas y 3 días. Primero se producen náuseas y vómitos severos, por lo común al cabo de unos minutos de exposición. Durante este tiempo, el sujeto manifiesta síntomas extremos de nerviosismo y confusión, padece sensación de quemaduras en la piel y puede perder la visión e incluso la consciencia durante la primera hora. Puede aparecer un estado de latencia de hasta 12 horas, durante el cual desaparecen o disminuyen notablemente los síntomas.

A este tiempo de latencia sigue el de enfermedad manifiesta, caracterizado por la reparación virulenta de los síntomas, propios del estado prodrómico. El sujeto pierde la orientación y la coordinación muscular, tiene dificultades para respirar y puede sufrir de convulsiones, pérdida de equilibrio, ataxia y letárgica, que llevan al coma y la muerte.

La causa de la muerte en el síndrome SNC es aparentemente por el elevado contenido de líquido en el cerebro, lo que incrementa la presión intracraneal, inflamación en los vasos sanguíneos del cerebro (vasculitis) e inflamación de las meninges (meningitis).

Si la dosis es suficiente como para producir lesiones en el SNC, los daños inducidos en los restantes órganos del cuerpo pueden ser de gravedad comparable. Sin embargo, no se detectan los cambios clásicos inducidos por la radiación en el tracto

gastrointestinal y el sistema hematológico, ya que no transcurre el tiempo suficiente entre la exposición y la muerte.

### DOSIS LETAL (DL) 50/30<sup>13</sup>

En los casos fatales, la muerte se produce por lo general unos 30 días después de la exposición. Así, la letalidad por radiación aguda se mide cuantitativamente por medio de la DL 50/30 o dosis de radiación que aplicada sobre todo el cuerpo, produciría la muerte al cabo de 30 días en el 50% de la población irradiada. El valor de DL 50/30 en los seres humanos se estima aproximadamente en 300 rad (3Gy). Con un soporte clínico adecuado, pueden tolerarse en dosis muy superiores, hasta un máximo conocido de 850 rad (8,5 Gy).

Al aumentar la dosis de radiación en todo el cuerpo, desciende el tiempo medio transcurrido entre la exposición y la muerte. Este periodo se conoce como tiempo de supervivencia medio. Cuando la dosis de radiación aumenta desde 200 rad a 1000 rad (de 2 a 10 Gy) el tiempo de supervivencia medio disminuye, aproximadamente, de 60 a 4 días, y esta región es consistente con la muerte debida al síndrome hematológico.

### DAÑO HÍSTICO LOCAL<sup>14</sup>

Cuando solo se irradia una parte del cuerpo, en contraste con la irradiación corporal total, se necesita una dosis superior para producir una respuesta. La irradiación corporal parcial puede influir en cualquier órgano o tejido, con el efecto de muerte celular que produce retracción o reducción de tamaño (atrofia) del órgano o el tejido. Ello puede conducir a un fallo de funcionamiento total de dicho órgano o tejido, o también, seguirse de un proceso de recuperación.

#### *Efecto en la piel*

Al igual, que en la mucosa del intestino, en la piel tiene lugar un proceso permanente de renovación celular, aunque a un ritmo mucho más lento que el de las células intestinales. Casi el 50% de la mucosa intestinal se sustituye diariamente, mientras que el índice de sustitución propio de las células de la piel, o epidermis, contiene varios niveles celulares, el más profundo de los cuales está constituido por las células basales. Las células basales son células madres que maduran conforme emigran

---

<sup>13-14</sup> Stewart Bushong. Manual de Radiología para Técnicos: Física, Biología Y protección Radiológica. Efectos inmediatos de la radiación. Novena edición; Editorial ELSEVIER, 2010, 35:538-548.

con lentitud hacia la superficie de la epidermis. Una vez que alcanzan esta superficie, ya como células maduras, se van desprendiendo y han de ser sustituidas por otras y han de ser sustituidas por otras nuevas procedentes de la capa basal. Del daño es estas células basales se producen las primeras manifestaciones de las lesiones en la piel debidas a radiaciones.

Tras, una sola dosis de 300 a 1000rad (de 3 a 10 Gy), puede aparecer un eritema inicial leve en el primer o el segundo día de tratamiento. La primera oleada del eritema cede, después se produce una segunda que alcanza su máxima intensidad aproximadamente al cabo de dos semanas. Con dosis mayores, esta segunda oleada de eritema se seguirá de una descamación húmeda, que puede derivar en descamación seca. La descamación húmeda recibe el nombre de tolerancia clínica a la radioterapia.

#### *Efectos en las gónadas*

Las gónadas humanas son órganos de gran importancia. Las células de los testículos o gónadas masculinos, y de los ovarios, o gónadas femeninas, responden de forma distintas a la radiación según las diferencias es la progresión de las células germinales desde su fase de células madre hasta la madurez.

Las células germinales son producidas en ambos ovarios y testículos, pero avanzan desde la fase de célula madre a la madurez a ritmos y en plazos de tiempo diferentes. Este proceso de desarrollo se denomina gametogénesis. Las células madres de los ovarios son oogonios y su número se multiplica únicamente durante la vida fetal. Las oogonios alcanzan un número máximo de 7 millones aproximadamente, a mitad del embarazo, momento desde el cual dicho numero empieza a disminuir por degeneración espontánea.

Durante la última parte de la vida fetal, crecen muchos folículos primordiales en los que encapsulan los oogonios, que se convierten en oocitos. Estos folículos provistos de oocitos permanecen en un estado de crecimiento suspendido hasta la pubertad. En la prepubertad, el número de oocitos ha disminuido.

Las células germinales de los testículos son producidos continuamente a partir de células madre en fases sucesivas hasta la madurez. Al igual que los ovarios, los testículos ofrecen un sistema de renovación celular sostenido. La célula madre de los varones es el espermatogonico, que al madurar se convierte en espermatocito. Este se multiplica y forma una espermatide, que finalmente se diferencia en la célula germinal funcionalmente madura, llamada espermatozoide o espermio. El proceso de maduración desde la célula madre hasta el espermatozoide puede durar de 3 a 5 semanas.

Ovarios: la irradiación de los ovarios en las primeras fases de la vida provocara la reducción de su tamaño (atrofia) debido a la muerte de células germinales. Después de la pubertad, esta irradiación puede también producir una supresión o un retraso de la menstruación. La célula más radiosensible en la gametogénesis femenina es el oocitos, en el interior del folículo maduro.

Los efectos de la radiación en los ovarios dependen, hasta cierto punto, de la edad. En la etapa fetal y los primeros años de la infancia, los ovarios son particularmente radiosensibles. Esta sensibilidad va disminuyendo, hasta alcanzar un mínimo entre los 20 y 30 años de edad, para volver después a aumentar de forma continuada. Una dosis de 200 rad (2 Gy) aproximadamente produce una esterilidad temporal pronunciada; para inducir una esterilidad permanente se necesitan 500 rad (5Gy) aproximadamente.

Además de la destrucción de la fertilidad, se ha demostrado que la irradiación de los ovarios de los animales de experimentación produce mutaciones genéricas.

Testículos: Al igual que los ovarios, los testículos se atrofian después de la dosis de radiación elevada. Las células madre de los espermatogonios se encuentran en la fase más sensibles de la gametogénesis de los espermatozoides. Después de irradiar los testículos, las células en maduración, los espermatozoides y las espermatides son relativamente radioresistentes y continúan su proceso de maduración. En consecuencia no existe una reducción significativa en los espermatozoides hasta varias semanas después de la exposición, por lo que la fertilidad se mantiene durante este tiempo. En tal momento, los espermatogonios irradiados se habrán transformados en espermatozoides maduros, siempre que haya sobrevivido.

#### *Efectos Hematológicos*

El sistema hemopoyético está compuesto por la médula ósea, la sangre en circulación y el tejido linfoide. Los tejidos linfoides son los nodos linfáticos, el bazo y el timo. El principal efecto de la radiación en este sistema es el descenso en el número de glóbulos rojos en la circulación periférica. Los efectos relacionados con el tiempo y la dosis sobre los diferentes tipos de células sanguíneas circulantes están determinados por la normalidad del crecimiento y la maduración de estas células.

#### *Supervivencia de las células hematopoyéticas.*

La principal repuesta del sistema hematopoyético a la radiación es la disminución de todos los tipos de células sanguíneas en la sangre periférica circulante. La lesión letal en las células precursora origina la depleción de estas células maduras circulantes.

Tras la exposición, las primeras células afectadas son los linfocitos. Estas células reducen su número (linfopenia) unos minutos o unas horas después de la exposición. Su ritmo de recuperación es muy lento. Los linfocitos y los espermatozoides se consideran las células más radiosensibles del cuerpo humano. Al ser una respuesta tan inmediata, el efecto de la radiación parece influir en los mismos linfocitos, más que en las células precursoras.

Los granulocitos experimentan un rápido aumento de número (granulocitosis), seguido primero por una disminución rápida y después menos pronunciada de su cantidad (granulocitopenia). Si la dosis de radiación es moderada, puede producirse un aumento transitorio del recuento de granulocitos entre 15 y 20 días después de la irradiación. Los niveles mínimos se alcanzan aproximadamente 30 días después de la irradiación. Si existe recuperación, la cifra de granulocitos tarda unos 2 meses en normalizarse.

La depleción de plaquetas (trombocitopenia) después de la irradiación avanza con lentitud, debido de nuevo a que se requiere más tiempo para que las células precursoras más sensibles alcancen la madurez. Los trombocitos reducen su número hasta alcanzar un mínimo al cabo de unos 30 días, para después recuperarse en 2 meses con una cinética de respuesta semejante a la de los granulocitos.

Los eritrocitos, por su parte, son menos sensibles que las otras células sanguíneas. Ello se debe, aparentemente, a su prolongada vida en la sangre periférica. Los daños en estas células no se hacen manifiestos hasta transcurridas varias semanas, y la recuperación total puede tardar entre 6 meses y 1 año.

## EFFECTOS DIFERIDOS DE LA RADIACIÓN

Por lo general los efectos tardíos o diferidos se deben a dosis relativamente bajas suministradas durante un período de tiempo prolongado. En cambio, los efectos precoces se deben a dosis relativamente elevadas; lo que no quiere decir que los efectos tardíos no puedan deberse a dosis elevadas y exposiciones breves, pero en radiología diagnóstica son importantes los efectos tardíos debido a la repetida exposición de bajo nivel.

Los principales efectos tardíos son la enfermedad maligna inducida por la radiación, y los defectos congénitos, además de las acciones sobre tejidos y el acortamiento de la esperanza de vida.

### *Efectos locales*

Piel: Es la primera barrera que pone el organismo frente a las radiaciones, es por eso que los efectos cutáneos son los más frecuentes de todas las radiaciones histopatológicas radioinducidas. Las células de la piel son las más radiosensibles, además su posición superficial hace que puedan ser alcanzadas por radiaciones muy poco energéticas.

Los efectos sobre la piel pueden ser: eritema, descamación, depilación y desarrollo tardío de carcinoma.

Cromosomas: las irradiaciones de los órganos hemopoyético pueden producir depresión hematológica como respuesta precoz o leucemia como respuesta tardía. No es necesaria una dosis muy elevada para provocar aberraciones cromosómicas; Además estas anomalías tal vez no se hagan aparentes hasta muchos años después de la exposición.

Cataratas: la sensibilidad del cristalino ocular depende de la edad. Cuanto mayor sea la edad más intensa será el efecto de la radiación y más corto el período de latencia. Si la dosis es lo suficientemente alta 1000rad o 10Gy desarrollan cataratas casi el 100% de los irradiados.

La exposición laboral del cristalino es demasiado baja para requerir el uso de dispositivos protectores por parte de técnicos y radiólogos, se considera casi imposible que un trabajador sanitario alcance la dosis umbral.

En tomografía la radiación administrada al cristalino durante los exámenes de cabeza y cuello puede ser significativa 5 rad por proyección, por lo general toma 2 cortes que inciden en el cristalino.

Siempre deben usarse protectores oculares cuando no interfiere en el diagnóstico.

### *Disminución de la esperanza de vida*

En el peor de los casos, es de esperar una reducción de la esperanza de vida de 10 días por cada rad.

En los comienzos de la radiología los técnicos y médicos morían 5 años antes que la población en general.

En la actualidad esto cambio rotundamente, debido a que la radiología es una ocupación segura porque ha habido avances en la protección del radiólogo y en el diseño de los equipos.

### *Neoplasias malignas inducidas por radiación*

Leucemia: la leucemia inducida por radiación es una respuesta real, y la incidencia aumenta con la dosis de radiación. El tiempo de respuesta es lineal y sin umbral.

Se considera que la leucemia inducida por radiación tiene un período latente de 4 a 7 años y un período de riesgo de aproximadamente 20 años. El período de riesgo es el tiempo después de la irradiación durante el cual se puede esperar que aparezca el efecto de la radiación.

Los datos de los supervivientes de las bombas nucleares demuestran que la exposición a la radiación, fue la causa del posterior desarrollo de la leucemia.

Los primeros radiólogos no contaban con los modernos dispositivos y procedimientos de protección frente a la radiación, y muchos ejercían como radioterapeutas oncológicos y como radiólogos de diagnóstico. Durante las actividades de radioterapia recibían grandes cantidades de radiación por aplicación de radio, se ha calculado que estos primeros radiólogos recibieron dosis superiores a 100 rad/año (1Gr por año).

En la actualidad no se observan entre radiólogos ningún aumento de la incidencia de leucemia en comparación con otros especialistas médicos.

Aproximadamente el 20% de todas las muertes se deben al cáncer.

Cáncer de tiroides: antiguamente para tratar el agrandamiento del timo (glándula situada debajo de la tiroides) se utilizaba radiación, luego de una dosis de hasta 500 rad el timo presentaba retracción, pero años más tardes estas personas comenzaron a desarrollar nódulos tiroideos y en algunos casos cáncer de tiroides.

La relación dosis respuesta para el cáncer de tiroides es de tipo lineal sin umbral. Cáncer cutáneo: suele comenzar como una radiodermatitis. En pacientes tratados con voltaje (200-300 kVp) o radioterapia superficial (50-150 kVp) era frecuente ver cáncer de piel inducido por radiación. El periodo latente es de 5 a 10 años.

La relación entre cáncer cutáneo y radiación es del tipo lineal con umbral.

Las dosis umbrales son un tema muy controvertido:

Trastornos graves: una cantidad de radiación superior a 40 Gy produce un deterioro severo del sistema vascular que desemboca en edema cerebral, trastornos neurológicos y coma profundo. El individuo muere en las 48 horas siguientes. Cuando el organismo absorbe entre 10 y 40 Gy de radiación, los trastornos vasculares son menos serios, pero se produce la pérdida de fluidos y electrolitos que pasan a los

espacios intercelulares y al tracto gastrointestinal. El individuo muere en los diez días siguientes a consecuencia del desequilibrio osmótico, del deterioro de la médula ósea y la infección terminal. Si la cantidad absorbida oscila entre 1,5 y 10 Gy, se destruye la médula ósea provocando infección y hemorragia. El individuo puede morir cuatro o cinco semanas después de la exposición. Los efectos de estas radiaciones poco intensas son los que pueden tratarse de forma eficaz.

La radiación de zonas concretas del cuerpo produce daños locales, se lesionan los vasos sanguíneos de las zonas expuestas alterando las funciones, cantidades más elevadas desembocan en necrosis.

Lesiones genéticas: malformaciones o muerte en el feto. A nivel gonadal, mutaciones.

Efectos retardados: las consecuencias menos graves de la radiación ionizante se manifiestan en muchos órganos en concreto la médula ósea, riñones, pulmones y el cristalino de los ojos debido al deterioro de los vasos sanguíneos. Como consecuencias secundarias aparecen cambios degenerativos. El efecto retardado más importante es el aumento en la incidencia de cánceres (pulmón, tiroides, mama, leucemia). El aumento estadístico de estos cánceres es significativo en poblaciones expuestas a cantidades de radiación relativamente altas (más de 1 Gy). No se ha demostrado que haya malformaciones en los hijos de personas ocupadas en tareas radiológicas durante muchos años.

La dosis letal medida es la que produce la muerte del 50% de la población en 30 días. Para los seres humanos es de 40 Gy.

La dosis máxima permisible: es la dosis máxima de radiación que no produce efectos de radiación significativos.

## RADIACIÓN Y EMBARAZO<sup>15</sup>

El riesgo antes del embarazo se refiere a la interrupción de la fertilidad. Durante la gestación preocupan los posibles efectos congénitos en el recién nacido. El peligro tras el embarazo está relacionado con los efectos genéticos sospechados.

Efectos sobre la fertilidad: un efecto precoz debido al alto nivel de radiación es la interrupción de la fertilidad tanto en hombre como en mujeres y se encuentra

---

<sup>15</sup> Dillenseger J.P, Moerschel E. Manual para técnicos radiólogos. Radiobiología: Radiación y embarazo, Irradiación in útero. Ediciones Journal, 2012, 14:367.

relacionado con la dosis. Sin embargo los efectos con dosis bajas a largo plazo sobre la fertilidad no están bien definidos.

Irradiación in útero: esta irradiación tiene relación con dos tipos de exposiciones, la del trabajador sanitario y la del paciente.

Estos efectos son raros tras la exposición a niveles diagnósticos y casi no se detectan con dosis inferiores a 10 rad.

Existen además otros efectos pos radiación in útero, como el retraso del crecimiento y desarrollo del recién nacido ya sea físico y mental, también se ha podido ver microcefalia.

## IRRADIACIÓN IN ÚTERO

La irradiación in útero se refiere a la radiación del embrión y del feto. El primer parámetro es conocer el tiempo de embarazo. En efecto, el riesgo no es el mismo según el tiempo de desarrollo del feto.

Es también necesario evaluar las modalidades y las circunstancias de irradiación dado que ellas determinaran la gravedad de los efectos:

- Exposición accidental con una dosis y una tasa de dosis elevada (explosión nuclear).
- Exposición accidental con una dosis y una tasa de dosis bajo (examen radiológico).
- Exposición crónica en el caso de la práctica profesional.

### *Diferentes estadios del desarrollo fetal*

- Periodo preimplamantación. El ovocito es fecundado por un espermatozoide, lo que desencadena la continuación de la meiosis y las primeras divisiones celulares. Luego, el pre embrión llega al útero, donde se fija, es la llamada anidación. El conjunto del proceso tarda aproximadamente catorce días.
- Periodo de organogénesis. El embrión se sigue desarrollo, se forman los órganos, el corazón, el tubo neural, el hígado, los miembros y llega a los 3 cm de longitud en ocho semanas aproximadamente.
- Periodo fetal. En un mes el embrión triplicara su volumen, el embrión pasa al estado fetal. Las células nerviosas se desarrollan, el esqueleto y las articulaciones se vuelven funcionales y se forma el rostro.

Comienza un largo periodo de crecimiento y de desarrollo. Se produce la diferenciación de los órganos sexuales, la maduración de los órganos, del sistema nervioso y de las funciones sensoriales.

En el noveno mes su cerebro continúa desarrollándose y todos sus sentidos son activos, los alveolos pulmonares se desarrollarán a partir del nacimiento: el bebé está listo para nacer.

### *Riesgos*

El análisis de los diferentes periodos del embarazo y los estudios de fisiopatología permitieron identificar los riesgos:

- Para el periodo preimplantación es la ley del todo a nada, es decir, o las divisiones celulares no han sido afectadas y seguirán sin problema o han sido detenidas y el huevo fecundado es eliminado naturalmente.
- Para el periodo de organogénesis, el riesgo parece orientarse hacia las malformaciones de los órganos o del esqueleto.
- Para el periodo fetal, una exposición a las radiaciones ionizantes aumentaría de manera importante el riesgo de retardo mental grave.
- A estos riesgos se agrega siempre el desarrollo de un cáncer.

Los datos actuales son bastante claros sobre los retardos mentales o la aparición de cánceres en las personas irradiadas in útero debido a las exploraciones nucleares con dosis superiores a 1 Gy, pero no se han demostrado anomalías para dosis inferiores a 0,5 Gy.

Por lo contrario, no se ha podido confirmar ninguna malformación congénita en los sobrevivientes de Hiroshima y Nagasaki ni para las exposiciones de origen médico o profesional.

### EXPOSICIÓN PROFESIONAL A LA RADIACIÓN<sup>16</sup>

Aunque el límite de dosis recomendado para personal de radiología es de 50mSv (5.000 mrem/año), la experiencia ha mostrado que las exposiciones habituales son menores que este límite. La exposición profesional a la radiación del personal de radiología encargado de actividades generales con rayos X no debería exceder normalmente de 1 mSv/año (100 mrem/año).

Los radiólogos normalmente reciben exposiciones un poco mayores que los técnicos radiólogos. La razón es que la fluoroscopia, los radiólogos normalmente están más cerca tanto de la fuente de radiación como del paciente.

---

<sup>16</sup>Stewart Bushong. Manual de Radiología para Técnicos: Física, Biología Y protección Radiológica. Control de la dosis de la radiación profesional. Novena edición; Editorial ELSEVIER, 2010, 40:614-616.

*Fluoroscopia.* Es indudable que la mayor exposición personal profesional de diagnóstico con rayos X produce durante la fluoroscopia y la radiología portátil. Durante la exposición radiográfica, el técnico radiólogo está detrás de una barrera protectora.

Durante la fluoroscopia, el técnico radiólogo está expuesto a niveles relativamente altos de radiación. De cualquier modo, la exposición personal está directamente relacionada con el tiempo de exposición a los rayos X tomando precauciones, las exposiciones personales pueden seguir el criterio ALARA (“As Low As Reasonably Achievable” es decir “tan bajo como sea razonablemente alcanzable”).

La fluoroscopia remota da como resultado bajos niveles de exposición personal, ya que el personal no se encuentra en la habitación donde se hace el examen con rayos X al paciente. Mucho fluoroscopia tiene el tubo de rayos X sobre la mesa y el receptor de imágenes se encuentra justo debajo. Esta disposición ofrece varias ventajas para calidad de imagen, pero la exposición personal es mayor porque los niveles de radiación secundaria (dispersión + filtración) son mayores.

*Radiología Intervencionista.* El personal que participa en los procesos de radiología intervencionista a menudo recibe mayores niveles de exposición que en las prácticas radiológicas generales debido al mayor tiempo de fluoroscopia con rayos X, ausencia frecuente de una cortina protectora sobre la torre intensificadora de imágenes y el uso extendido de la cineradiografía contribuyen a una mayor exposición personal.

La exposición de las extremidades durante los procedimientos de radiología intervencionista puede ser significativa. Incluso con guantes protectores, la exposición del antebrazo puede aproximarse al límite de dosis recomendado de 500 mSv/año (50rem/año) si no se tiene especial cuidado. Sin guantes protectores es posible una sobreexposición de las manos.

*Tomografía Computarizada.* Las exposiciones personales en instalaciones de tomografía computarizada (TC) son bajas. Puesto que el flujo de rayos X en TC está finamente enfocado y solo la radiación secundaria está presente en la sala de exposición, los niveles de radiación son bajos comparados con los vistos en fluoroscopia.

*Cirugía.* El personal de enfermería y otro personal en la sala de operaciones y de cuidados intensivos a veces están expuestos a radiaciones de sistemas de imagen de rayos X móviles y de fluoroscopios de brazos en C. Aunque este personal está a menudo preocupado por estas exposiciones, numerosos estudios han demostrado que su exposición profesional es próxima a cero y que ciertamente no es motivo de

preocupación. Por ello, normalmente no se precisa ningún tipo de monitor de radiación profesional para este personal.

*Radiología Móvil.* Los controles de radiación profesional no son necesarios durante la radiografía móvil excepto para los técnicos radiólogos o para cualquier que se requiere para retener o inmovilizar al paciente. El personal que regularmente hace funcionar el fluoroscopio de brazo en C o está en cercanía inmediata a él debería llevar un monitor de radiación profesional además de la vestimenta de protección. Durante una fluoroscopia de brazo en C, el flujo de rayos X puede estar funcionando durante un tiempo relativamente prolongado y el flujo puede estar dirigido virtualmente hacia cualquier dirección.

El personal de radiología nunca debería estar expuesto a más de 50 mSv/año (5.000 mrem/año). En hospitales pequeños, centros de emergencias y clínicas privadas, las exposiciones a radiación profesional rara vez exceden los 5mSv/año (500 mrem/año).

## DOSIS LÍMITE DE RADIACIÓN <sup>17</sup>

Un esfuerzo continuo de los físicos médicos ha sido el de describir e identificar los límites de dosis profesionales. Durante muchos años se especificó una *dosis máxima permitida* (MPD, maximum permissible dose). La MPD era la dosis de radiación que se esperaba que no produjera efectos radiológicos significativos.

A una dosis de radiación por debajo de la MPD no deberían producirse respuestas. A un nivel de la MPD, el riesgo no es cero, pero es pequeño, menor que el riesgo asociado con otras profesiones y razonable a la luz de los beneficios derivados. El concepto de MPD actualmente ha quedado obsoleto y se ha reemplazado por el de dosis límite (DL).

*Dosis límite de radiación para el cuerpo entero.* El National Council on Radiation Protection (NCRP) ha evaluado el riesgo sobre la base de los datos de los informes de la National Academy of Sciences (Biologic Effects of Ionizing Radiation – BEIR- Committe) y el National Safety Council para establecer las DL. El estado y las agencias gubernamentales federales estadounidenses adoptan de forma periódica estas dosis límite recomendadas como leyes. Las actuales DL se prescriben para varios órganos, así como para el cuerpo entero, y para distintas condiciones de trabajo. Si uno recibiera la DL cada año, el riesgo de muerte no excedería de  $10^{-4}$  año<sup>-1</sup>.

---

<sup>17</sup> Stewart Bushong. Manual de Radiología para Técnicos: Física, Biología Y protección Radiológica. Control de la dosis de la radiación profesional. Novena edición; Editorial ELSEVIER, 2010, 40:616-620.

El valor  $10^{-4}$  año<sup>-1</sup> es el riesgo aproximado de muerte para los trabajadores en industrias seguras. Las DL recomendadas por el NCRP aseguran que los trabajadores de la radiación tienen un riesgo igual al de los trabajadores de las industrias seguras.

Se debe tener un especial cuidado para asegurarse de que ningún trabajador de la radiación recibe una dosis de radiación que exceda la dosis límite. La DL se especifica solo para exposición profesional. No se debe confundir con la exposición médica de rayos X recibida por el paciente.

La primera DL, 500 mSv/semana, se recomendó en 1902. La actual DL es de 1 mSv/semana (100 mrem/semana). A través de los años, ha habido revisiones a la baja de la DL.

En los primeros años de la radiología, la DL consistía en un único valor considerado el nivel de trabajo seguro para el cuerpo entero. Se basaba principalmente en las repuestas agudas conocidas a la exposición a la radiación y asumió que existía una dosis umbral.

Hoy la DL no solo se especifica para la exposición de cuerpo entero, sino también para la exposición de partes del cuerpo, exposición de órganos y exposición de la población general, de nuevo excluyendo la exposición médica de paciente y la exposición a las fuentes naturales.

La DL básica anual es de 50 mSv/año (5.000 mrem/año). La DL para cristalino del ojo es de 150 mSv/año (15 rem/año) y para otros órganos es de 500 mSv/año (50 rem/año).

La DL acumulativa para el cuerpo entero es de 10 mSv (1.000 mrem) una vez en años. La DL durante el embarazo es 5 mSv (500mrem), pero, una vez declarado el embarazo, la exposición mensual no debe exceder 0,5 mSv (50 mrem).

Las DL actuales se basan en una relación lineal de repuesta a la dosis sin umbral; se considera que representan unos niveles aceptables de exposición profesional a la radiación.

En la práctica, al menos en radiología de diagnóstico, rara vez es necesario exceder  $1/10$  de la DL apropiada. Sin embargo, dado que la base de la DL asume una relación lineal de repuesta a la dosis sin umbral, toda la exposición innecesaria a la radiación debe evitarse.

La exposición profesional se describe como *dosis equivalente* en unidades de milisievert (milirem). Las DL se especifican como *dosis efectiva (E)*.

El concepto de dosis efectiva considera los distintos tipos de radiación debido a su diferente efectividad biológica relativa. La E también considera la sensibilidad a la radiación relativa de los diferentes tejidos y órganos.

*Dosis límite de radiación para tejidos y órganos.* La dosis límite de cuerpo entero de 50 mSv/año (5.000 mrem/año) es una dosis efectiva que tiene en cuenta el peso medio de varios tejidos y órganos. Además, el NCRP ha identificado algunos tejidos y órganos específicos con dosis límite específicas recomendadas.

Piel: algunos órganos del cuerpo tienen mayor dosis límite que la dosis límite de cuerpo entero. La DL para la piel es de 500 mSv/año (50 rem/año).

Este límite generalmente no interesa en radiología de diagnóstico, ya que afecta a la radiación sin poder de penetración como radiación alfa y beta y rayos X muy blandos. Es muy improbable que los técnicos radiólogos dedicados a mamografías o medicina nuclear reciban exposiciones a la radiación en la piel superior a 10 mSv/año (1.000 mrem/año).

Extremidades: los radiólogos a veces tiene las manos cerca del haz de radiación primario de fluoroscopia y, por eso, la exposición en las extremidades puede ser causa de preocupación. La DL para las extremidades es la misma que en el caso de la piel, 500 mSv/año (50 rem/año).

Los radiólogos intervencionistas y los técnicos de medicina nuclear, deben disponer de monitores personales de extremidades. Estos aparatos se llevan en la muñeca o en los dedos.

Cristalino: puesto que se sabe que la radiación produce cataratas, se especifica una dosis límite para el cristalino del ojo. Estas dosis límite son de 150 mSv/año (15 rem/año) y nunca hay que acercarse a este límite, ni mucho menos superarlo. La dosis en el cristalino puede controlarse con un dosímetro en el cuello.

## REDUCCIÓN DE LA EXPOSICIÓN PROFESIONAL A LA RADIACIÓN<sup>18</sup>

El técnico radiólogo puede hacer mucha para reducir al mínimo la exposición profesional a la radiación. La mayoría de los procedimientos para el control de la exposición no requieren un equipo sofisticado o un entrenamiento especialmente riguroso, sino simplemente una actitud concienzuda en cumplimiento de deberes asignados. La mayoría de las características del equipo, de los cambios de la técnica y

---

<sup>18</sup> Stewart Bushong. Manual de Radiología para Técnicos: Física, Biología Y protección Radiológica. Control de la dosis de la radiación profesional. Novena edición; Editorial ELSEVIER, 2010, 40:620 -625.

de los procedimientos administrativo que se diseñaron para reducir al mínimo de la dosis en el paciente también se utilizan para reducir la exposición profesional.

En radiología de diagnóstico, por lo menos el 95% de la exposición profesional a la radiación del técnico radiólogo viene de la radiografía fluoroscópica y de la móvil. La atención a los principios fundamentales de la protección contra la radiación (tiempo, distancia y blindaje) y el criterio ALARA son los aspectos más importantes del control de la radiación profesional.

#### *Informes de los controles de la radiación profesional.*

Las regulaciones estatales y federales requieren que los resultados del programa de control de la radiación profesional sean registrados de una manera exacta y mantenida para revisión. Los periodos de controles anuales, trimestrales, mensuales o semanales son aceptables.

Los datos de exposición que deben ser incluidos en el informe son la exposición actual y la exposición anual acumulativa. Otros dosímetros, como los de extremidades o los de control fetal, serán identificados por separado de los de cuerpo entero.

Ocasionalmente, si la exposición profesional implica una energía de radiación baja, la dosis sobre la piel podría ser mayor que la dosis penetrante. En estos casos, la dosis de la piel será identificada por separado. Hay áreas concretas en el informe para la exposición a radiación de neutrones tanto para los trabajadores del reactor nuclear como para los de acelerador de partículas.

Cuando se establece un programa de control de la radiación profesional, el proveedor del monitor debería ser informado del tipo de instalación involucrada en la radiación. Esta información influye en el método de calibración de los monitores y en el control de los monitores. El monitor e control nunca debería mantenerse o estar adyacente a un área de radiación. Debería mantenerse en un lugar distante o en la oficina. Después del procesado, la repuesta del monitor de control se resta de cada monitor individual. De esta forma, el informe para cada monitor individual representa sólo la exposición a la radiación profesional.

#### TÉCNICA RADIÓLOGA EMBARAZADA<sup>19</sup>

Cuando una técnica radióloga se queda embarazada, lo debe notificar a su supervisor el embarazo entonces se convierte en declarado y la dosis límite que se aplica

---

<sup>19</sup> Stewart Bushong. Manual de Radiología para Técnicos: Física, Biología Y protección Radiológica. Control de la dosis de la radiación profesional. Novena edición; Editorial ELSEVIER, 2010, 40:625-628.

es de 0,5 mSv/mes (50 mrem/mes). El supervisor debe revisar su historia de exposición a la radiación porque esto ayuda a decidir qué acciones protectora son necesarias.

La dosis límite para el feto es de 5 mSv (500 mrem) durante el periodo de embarazo, un nivel de dosis que la mayoría de los técnicos radiólogos no alcanza, con independencia del embarazo. Aunque algunos pueden recibir dosis que exceden 5 mSv/año (500 mrem/año), la mayoría reciben menos de 1 mSv/año (100 mrem/año).

Se debe colocar un dosímetro personal adicional debajo del delantal protector a la altura de la cintura. La exposición comunicada por este segundo dosímetro debe mantenerse en un registro separado e identificarse como exposición al feto.

En radiación oncológica, la técnica embarazada puede continuar con su volumen de trabajo habitual, pero debe ser aconsejada para que no participe en aplicaciones de braquiterapia.

En medicina nuclear, la técnica embarazada debe manejar solo pequeñas cantidades de material radiactivo. No debe trabajar con generadores de radioisótopos ni inyectar cantidades de milicurios de material radiactivo.

## PROTECCIÓN DEL PERSONAL

Debe considerarse la protección frente a la exposición a radiación externa, la exposición frente a radiación de fotones y partículas y la contaminación radiactiva interna transferida desde contaminación radiactiva de superficie.

Los equipos generadores comprenden los equipos de Rayos X como los utilizados en la práctica del radiodiagnóstico médico y dental y los aceleradores de partículas, como los que se usan en el campo científico.

Las fuentes radiactivas pueden ser selladas o abiertas. A su vez, éstas fuentes pueden ser de “alta actividad”, cuando generan una tasa de dosis igual o superior a 1 rem/hora (0,01 Sv/h); por debajo de éstas, son consideradas fuentes de “baja actividad”.

Técnico puede irradiarse principalmente de dos maneras: Por irradiación externa y por contaminación radiactiva.

Irradiación externa: Es cuando la fuente emisora de radiaciones se encuentra fuera de la persona que se expone y es irradiada. Esta irradiación puede ser, de cuerpo total, parcial o localizado. Esta situación puede presentarse tanto con equipos generadores como con fuentes radiactivas.

Contaminación: En ésta, la fuente emisora se encuentra en contacto con la persona, si es en la superficie (piel, mucosas y/o faneras) la contaminación es superficial, si la fuente se encuentra en el interior del organismo, entonces es una

contaminación interna. Esta situación exclusivamente puede presentarse con fuentes radiactivas.

Esta protección se realiza por medio del establecimiento de límites para niveles conocidos de exposición a la radiación y contaminación radiactiva.

Con la utilización de instrumentos de monitorización de radiación, se establece un límite interno a una tasa de exposición de 10 R/h (100 Gy<sub>a</sub>/h).

## PRINCIPIOS ALARA<sup>20</sup>

Un principio de protección, llamado ALARA (“As Low Reasonably Achievable”, siglas en inglés de tan reducido como sea razonablemente posible) va un paso más allá en la protección del trabajador que el nivel de dosis efectiva. Este principio es importante y debería ser respetado por todos los radiólogos. A continuación, se enumeran cuatro maneras importantes de lograrlo:

1. Utilizar siempre un dosímetro u otro dispositivo de monitoreo. Aunque el dosímetro no reduce la exposición de la persona que la utiliza, los registros precisos a largo plazos derivadas de su lectura son importantes para establecer prácticas de protección.
2. Siempre que sea posible, deben utilizarse dispositivos de restricción o bandas de retención, y solo como último recurso, se debe permitir el ingreso de otra persona para contener al paciente, y esta persona nunca debe formar parte del personal de radiología. Si es necesario sostener al paciente debería recurrirse a cualquier persona que no sea un operador expuesto. Esta persona nunca debe pararse en el trayecto del haz de rayos primario o útil e, invariablemente, debe utilizar delantal y guantes protectores.
3. Recurrir sistemáticamente a la colimación precisa, la filtración del rayo primario, técnicas de kVp óptimas, y pantallas y películas de alta velocidad y limitar al mínimo la repetición de los estudios. La exposición del radiólogo deriva principalmente de la dispersión de las radiaciones desde el paciente y otras fuentes. Por lo tanto, reducir la exposición del paciente también significa disminuir la exposición del radiólogo.
4. Cumplir la regla cardinal de tres componentes de la protección contra las radiaciones, el tiempo, la distancia y la protección. El radiólogo debe reducir al mínimo el tiempo que permanece en un campo de exposición, ubicarse lo más lejos posible de la fuente y utilizar protectores de plomo mientras esta en un campo de exposición.

Esta recomendación es importante en la radiografía móvil y de pacientes con traumatismos, sobre todo cuando, se utiliza equipos fluoroscopia móviles con brazo C.

---

<sup>20</sup> Bontrager Kenneth L. Posiciones Radiológicas y Correlación Anatómica. 5ª Ed. Medica Panamericana, 2004, 1:54.

Cuando se utilizan equipos de fluoroscopia móviles, tales como equipo con brazo C, es importante la protección contra las radiaciones dispersas, debido al riesgo de incrementar la dosis de exposición para el paciente y el operador.

## RIESGO RADIOLÓGICO.<sup>21</sup>

Desde el punto de vista de la Protección Radiológica, actualmente las áreas de trabajo con alguna fuente emisora de radiaciones ionizantes se clasifican en: Zona controlada y supervisada. El resto debe ser tratado como “zona libre”.

La Zona controlada es aquella área en la cuál por el tipo de trabajo que se desempeña, los operadores pueden exponerse a dosis superiores a los 3/10 del límite anual establecido o según las recomendaciones internacionales actuales pudieran tener por la carga de trabajo dosis iguales o superiores a 0,1 mSv/semana. En ésta, tiene que existir una correcta señalización y debe cumplirse todas las medidas de protección radiológica tales como, tener barreras físicas definidas, control de las personas que allí laboran y transitan, uso de la vigilancia radiológica personal por dosimetría, uso de elementos de protección personal. La Zona supervisada es aquella área de trabajo donde la exposición a las radiaciones ionizantes está por debajo de los 3/10 del límite primario de dosis pero por encima del límite establecido para el público; según recomendaciones actuales, son aquellas que las dosis pudieran estar por debajo de 0,1 mSv/semana pero superiores a 0,01 mSv/semana, que son los niveles máximos permisibles para las “Áreas o Zonas libres”. En las áreas supervisadas, los trabajadores deben cumplir un mínimo de medidas de protección radiológica operacional y deben estar debidamente señalizadas.

Las zonas libres son todas aquellas donde no haya fuentes emisoras de radiaciones, por ejemplo, las salas de espera, los pasillos, oficinas administrativas en un servicio de Imagenología. En éstas no se requieren ningún tipo de medidas de protección radiológica.

Las medidas de Protección Radiológica son múltiples y específicas según la clasificación de la zona de trabajo.

La protección frente a las radiaciones requiere en primer lugar entender bien la naturaleza del problema para tomar las precauciones adecuadas. La protección frente a la contaminación pasa por trabajar con la máxima pulcritud en un ambiente limpio y hay tres formas fundamentales de protección frente a la irradiación:

---

<sup>21</sup> Dillenseger J.P, Moerschel E. Manual para técnicos radiólogos. Radiobiología y Radioprotección. Ediciones Journal, 2012, 15:378-382.

*Tiempo.* La dosis es directamente proporcional al tiempo de exposición. Como ejemplo una persona que trabaja en un campo de 4 mSv/hora, nivel similar al que producen 50  $\mu$ Ci de P32 a 10-15 cm, recibe en 1 hora 4 mSv pero en un periodo de 5 segundos recibe menos de 0,006 mSv.

*Distancia - Ley de la inversa del cuadrado.* La intensidad de la radiación es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. Como ejemplo: 1 MBq (27  $\mu$ Ci) de P32 en 1 ml produce una tasa de dosis de 210 mSv/hora en la superficie y menor de 0,021 mSv/hora (21  $\mu$ Sv/hora) a un metro de distancia.

En este proceder se aplica “la Ley del cuadrado inverso de la distancia” que significa: “Sí se conoce la intensidad de la dosis en un punto, esta irá disminuyendo según el cuadrado inverso de la distancia”. Existe una expresión matemática en este sentido que demuestra que al duplicar la distancia desde la fuente emisora al sujeto o punto de interés, se reducen la dosis de exposición a la cuarta parte con relación al punto inicial y así sucesivamente.

*Blindajes o Pantallas.* Son barreras situadas entre el producto radiactivo y los usuarios que eliminan o atenúan la radiación. La elección de la pantalla adecuada depende del tipo de emisión. Existen dos tipos de pantallas o blindajes, las denominadas barreras primarias (atenúan la radiación del haz primario) y las barreras secundarias (evitan la radiación difusa). Como ejemplo: la radiación  $\beta$  emitida por el P-32 se detiene con un centímetro de metacrilato, que absorbe eficazmente las partículas  $\beta$  y reduce la energía de la radiación gamma de frenado o “bremsstrahlung”. Para los emisores  $\gamma$ , como el I-125, se necesitan materiales pesados como el plomo para atenuar las radiaciones gamma o rayos X ya la radiación electromagnética se atenúa, no se detiene, al chocar con la materia.

*Radiación primaria:* el haz primario nunca debe apuntar al radiólogo ni a la cabina de control. No se debe exponer ninguna parte del cuerpo a la radiación primaria. En caso que se necesite sujetar al paciente (niños, personas discapacitadas) el personal radiológico no deberían ser los que sujetan a estos pacientes. Se utilizarán dispositivos de sujeción mecánicos, se pedirá a un amigo o pariente del paciente para que se encargue de sujetarlo durante el examen. De no ser posible usar guardapolvo y guantes plomados

Delantales plomados: pueden tener 0,25 o 0,50 mm de plomo. Normalmente de vinilo impregnado de plomo. El porcentaje de atenuación de rayos X por ejemplo a 75

kV es del 88% para un guardapolvo plomado de 0,25 mm y del 99% para el de 0,50 mm.

Deben renovarse con periodicidad ya que el uso produce fisuras y rasgamiento de la goma. Hay delantales plomados para mujeres embarazadas que tienen mayor espesor de plomo sobre la región del embarazo. Pueden usarse combinaciones de plomo, bario y tungsten. El escudo tiroidal protege a la tiroides y a la médula ósea del esternón.

El uso de anteojos protectores está indicado en los que realizan fluoroscopia en procedimientos angiointervencionistas.

Las barreras protectoras para la radiación primaria como por ejemplo la que debe haber detrás de un estativo o de un Bucky mural puede ser de 0,7 milímetros de plomo o equivalentes por ejemplo 7 centímetros de ladrillo o 4,5 centímetros de cemento.

Delantal plomado Biombos, paredes o parantes cubiertos, son siempre menos gruesas que las barreras de protección del haz primario, ya que las cabinas de control reciben radiación dispersa o secundaria.

Generalmente se necesitan menos de 0,4 milímetros de plomo o equivalentes: 2,5 milímetros de acero, 4,8 mm de vidrio, 12 mm de yeso, 53 mm de madera. Durante la radiografía el técnico se mantendrá dentro de la cabina de control y nunca dirigirá el haz primario hacia ella distancia del tubo durante el disparo. La radiación varía inversamente con el cuadrado de la distancia.

Durante la radiografía con equipos móviles, el técnico llevará un delantal protector, se mantendrá a una distancia máxima de la fuente. El cable disparador debe tener por lo menos 1,80 metros de largo. La radiación de fuga del tubo de rayos X que es la emitida desde la carcasa del tubo que no corresponden al haz primario, debe ser inferior a 100mR/h (26 mC/kg-h). Durante los estudios de fluoroscopia usará delantal plomado, escudo tiroidal y cortina que cubra la radiación entre el tubo y el paciente.

*Delantales plomados.*<sup>22</sup>



*Guantes plomados.*



*Anteojos plomados.*



<sup>22</sup> Brito Eduardo (2012). Protección Radiológica. Disponible en: [www.slideshare.net, Directory:http://www.slideshare.net/pelaonetter/proteccion-radiologica-12311639.](http://www.slideshare.net/pelaonetter/proteccion-radiologica-12311639)

## RADIOPROTECCIÓN<sup>23</sup>

Si la radioprotección es una disciplina que impone actualmente un cierto número de principios y de reglas para la utilización de las radiaciones ionizantes, es útil ante todo definir este concepto.

### *Definiciones*

La radioprotección es conjunto de medidas destinadas a asegurar la protección del hombre y su entorno contra los efectos adversos de las radiaciones ionizantes que hace posible su utilización.

La radioprotección está definida en el decreto 2002-255 del 22 de febrero de 2002, en Francia, la radioprotección es el conjunto de las reglas, los procedimientos y los medios para la prevención y la vigilancia que tienen como objetivo impedir o reducir los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes, producidos directamente o indirectamente sobre las personas y el medio ambiente.

## PRINCIPIOS CARDINALES DE LA PROTECCION RADIOLOGICA<sup>24</sup>

La radioprotección se basa en tres grandes principios:

- La justificación: ninguna práctica que implique exposiciones a las radiaciones debe ser implementada a menos que ella aporte una ventaja suficiente a los individuos expuestos o a la sociedad, que contrabalancee el detrimento radiológico que ella induce.
- La optimización: para una fuente dada, el objetivo general es mantener los valores de dosis individuales, el número de personas expuestas y la posibilidad de exposición potencial, al nivel más bajo que sea razonablemente posible lograr, teniendo en cuenta los factores socio económicos. Es el objetivo ALARA (As low as reasonably achievable).
- La limitación de las dosis: las exposiciones individuales que resulten de la combinación de las prácticas deben estar sometidas a los límites de dosis. Estos límites tienen por objetivo asegurar que ningún individuo sea expuesto a los riesgos radiológicos considerados inaceptables en el marco de esas prácticas en circunstancias normales.

---

<sup>23-24</sup> Dillenseger J.P, Moerschel E. Manual para técnicos radiólogos. Radioprotección. Ediciones Journal, 2012, 15:371.

## COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA<sup>25</sup>

Las características de los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes son la base para las recomendaciones tendientes a un uso seguro de las mismas.

En 1921 se creó el Comité Británico de Rayos X y Protección a la Radiación, primera organización nacional para la protección radiológica.

En 1928 la primera acción internacional fue llevada a cabo en el Segundo Congreso Internacional de Radiología, estableciendo la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP, en inglés), órgano independiente de cualquier gobierno, que congrega especialistas de diferentes países y cuyo objetivo es dar recomendaciones actualizadas sobre el uso seguro de las radiaciones ionizantes. El ICRP publicó sus primeras recomendaciones en el año 1931.

Las recomendaciones publicadas en forma periódica por el ICRP son la base de las normas de protección radiológica nacionales e internacionales. Estas recomendaciones están referidas a la protección del hombre frente a las radiaciones ionizantes, teniendo en cuenta que ellas son solo uno de los muchos peligros que enfrenta. Enfatizan el concepto de que las radiaciones deben ser tratadas con cuidado más que con miedo, y que para realizar evaluaciones y para la toma de decisiones, sus riesgos deben ser analizados en perspectiva teniendo en cuenta los riesgos asociados con otras actividades humanas.

El propósito principal es proveer un adecuado nivel de protección para el hombre, compatible con el uso de las radiaciones en aquellas prácticas en las que su empleo sea beneficioso.

En el caso de los efectos determinísticos, dada la existencia de una dosis umbral bien definida, la prevención se logra fácilmente haciendo que las dosis no excedan ciertos límites, seleccionados suficientemente por debajo de este valor umbral. La protección en este caso puede ser absoluta.

La situación es diferente en el caso de los efectos estocásticos. Dada la ausencia de dosis umbral, estos efectos no pueden ser evitados en forma absoluta mediante la fijación de niveles aceptables. Solamente se pueden aplicar criterios que permitan reducir los riesgos a niveles aceptables. Frente a un caso de enfermedad maligna, es imposible establecer su relación causal con una exposición a la radiación (el efecto es inespecífico), por lo tanto, la información disponible sobre carcinogénesis humana debida a la radiación se basa en estudios epidemiológicos de naturaleza estadística

---

<sup>24</sup> Dillenseger J.P, Moerschel E. Manual para técnicos radiólogos. Radioprotección. Ediciones Journal, 2012, 15:371-373.

efectuados en grupos de población irradiados con dosis relativamente altas. En este punto, las bases de las recomendaciones del ICRP es la relación lineal sin umbral entre la probabilidad de inducción de efectos estocásticos y la dosis. En este contexto, para estimar el riesgo de muerte por cáncer radio inducido se recomienda aplicar un coeficiente de 4 % por Sv en el ámbito de la radioprotección ocupacional y 5 % por Sv en el caso del público. Esto se debe a que los trabajadores ocupacionalmente expuestos se encuentran dentro de un rango etario de 18 a 65 años, quedando excluida la población infantil, cuyo riesgo de cáncer radio inducido es más elevado.

## CONTROL DE LA EXPOSICIÓN OCUPACIONAL <sup>26</sup>

Los radiólogos suelen estar expuestos a las radiaciones ionizantes. El nivel de radiación recibido depende del tipo de tarea y del tiempo necesario para realizarla. Determinar la cantidad de radiación recibida exige un programa de monitorización del personal.

El monitor personal no ofrece ningún tipo de protección frente a la radiación, sino que se limita a medir la cantidad de radiación recibida por el usuario y para eso se utiliza. Existen tres tipos principales de monitores personales en radiología diagnóstica: los dispositivos de película, los dosímetros termoluminiscentes y las cámaras de ionización de bolsillo.

1-Dispositivos de película: están formados por un trozo de película similar a la empleada en radiografía dental, colocado entre dos filtros metálicos dentro de una carcasa de plástico. La película utilizada es de un tipo especial para dosimetría, especialmente sensible a la radiación ionizante. La densidad de la película expuesta y revelada es proporcional a la cantidad de radiación recibida.

2-Dosimetría termoluminiscente.

3-Cámaras de ionización de bolsillo: no son muy habituales en radiología diagnóstica, antes de utilizarlo se debe ajustar a una determinada tensión, de manera que la escala de lectura indique 0. A medida que el dispositivo va siendo sometido a la radiación durante el día, la carga se disipa y se neutraliza. Un análisis de la tensión remanente al final del día indicara la cantidad de radiación a la que se ha sido sometido.

---

<sup>26</sup> Stewart Bushong. Manual de Radiología para Técnicos: Física, Biología Y protección Radiológica. Protección Radiológica: Control de la exposición ocupacional. Novena edición; Editorial ELSEVIER, 2010, 40:620-623.

### *Dispositivo de protección*

Existen guantes y delantales plomados de muchos tamaños y formas. Suelen ser de vinilo impregnado en plomo. En ocasiones se usa estaño en vez de plomo para la impregnación, ya que el estaño tiene ciertas ventajas sobre el plomo como material de blindaje frente al rango de energía de los rayos X de diagnóstico. Por supuesto, la mayor reducción frente a la radiación se consigue con los elementos de 1mm de grosor equivalente, pero los delantales de este tipo pueden pesar unos 10kg. El usuario puede quedar exhausto al terminar la jornada solo por llevar puesto el delantal. Mientras no se utilizan, las prendas protectoras deben guardarse en colgadores especiales. Si se doblan y desdoblan continuamente, el recubrimiento protector se romperá. Una vez al año como mínimo se debe de examinar con fluoroscopia, para detectar alguna fisura en dicho delantal.

### DOSÍMETRO PERSONAL<sup>27</sup>

El método más difundido en el monitoreo personal es la película radiográfica (dosimetría de película). El oscurecimiento de una placa fotográfica debida a la acción de las radiaciones es el único reconocido en algunos países como prueba de la exposición a las radiaciones, ya que guardada durante largo tiempo conserva la información. Consta esencialmente de una película radiosensible y un chasis que la contiene. La película tiene dos emulsiones de diferentes sensibilidades, para lograr un amplio margen de medición de dosis absorbida. Los chasis están provistos de filtros metálicos de cobre, plomo y aluminio que se colocan simétricamente en la parte anterior y posterior del mismo.

Cuando la radiación atraviesa la emulsión se liberan electrones que forman una imagen latente, una vez revelado la zona que ha sido expuesta a radiaciones aparecerá más oscura. El velado del film está relacionado con la exposición a la cual estuvo sometido. Este velado se expresa cuantitativamente por la densidad óptica. La densidad es medida por densitómetros graficándose las dosis de exposición en función de su densidad óptica para distintos filtros. Conserva la información por años y sirve como prueba médico-legal.

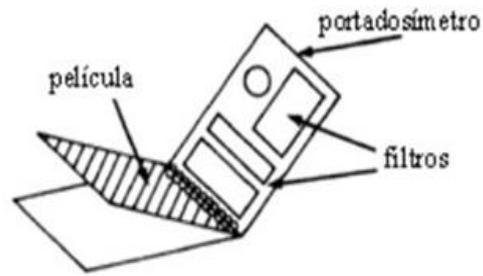
---

<sup>27</sup> Stewart Bushong. Manual de Radiología para Técnicos: Física, Biología Y protección Radiológica. Diseño para radioprotección radiológica. Novena edición; Editorial ELSEVIER, 2010, 40:620-621.

Recomendaciones para el uso del dosímetro personal:

1. Colocar el dosímetro en la parte central del pecho o en una de las solapas del guardapolvo. Esto es aceptable cuando se hacen placas radiográficas. Cuando se realizan exámenes fluoroscópicos hay controversia unos dicen que hay que colocar el dosímetro bajo el delantal y no sobre este, otros dicen que debe ir colgado al cuello. Casi todos los programas de control de radiación recomiendan que se lleve el monitor a la altura del cuello cuando se realiza fluoroscopia. Algunos propugnan el uso de dos monitores: uno en el cuello para evaluar la radiación sin protección, otro debajo del guardapolvo. En los que realizan procedimientos angiográficos o intervencionistas que son los que permanecen más expuestos se sugiere el uso de anillos o pulseras dosimétricas. Por supuesto estas dosis van a ser mayores que las que se registran con el dosímetro bajo del guardapolvo.
2. Llevar consigo el dosímetro durante todo el tiempo de permanencia en el lugar de trabajo aunque se haya dispuesto no trabajar con radiaciones.
3. Al retirarse del lugar de trabajo, guardar el dosímetro alejado de toda fuente de radiaciones.
4. El dosímetro debe preservarse del calor y/o la humedad para no alterar la información almacenada en él.





**Dosímetro de Película**

## DETECCIÓN DE LA RADIACIÓN Y MEDIDA<sup>28</sup>

Hay instrumentos diseñados para detectar la radiación o para medirla, o para ambos fines. Aquellos diseñados para la detección normalmente operan en el modo de pulso o tasa y se usan para indicar la presencia de radiación. En el modo de pulso, la presencia de radiación se indica por un sonido instantáneo, uno chirriante o un pitido. En el modo de tasa, la respuesta del instrumento está en mRh ( $\text{mGy}_a/\text{h}$ ) o R/h ( $\text{Gy}_a/\text{h}$ ).

Los instrumentos diseñados para medir la intensidad de la radiación normalmente operan en el modo de integración. Acumulan la señal y la respuesta está en exposición total (mR o R). Esta aplicación se llama dosimetría y los dispositivos que miden la radiación, dosímetros.

El primer dispositivo de detección de radiación fue la emulsión fotográfica y todavía es un medio primario de descubrimiento y medida de la radiación. Sin embargo, se han desarrollado otros dispositivos que tienen características más favorables que la emulsión fotográfica para algunas aplicaciones.

La película tiene dos aplicaciones principales en radiología de diagnóstico: la realización de una radiografía y el dosímetro personal de radiación (chapa de película). Otros cuatro tipos de dispositivos detectores de radiación son de particular importancia en radiología de diagnóstico. El detector de radiación de gas se usa ampliamente como un dispositivo para medir la intensidad de la radiación y detectar contaminación radiactiva. La dosimetría de termoluminiscencia (TLD, thermoluminescence dosimetry) y la dosimetría de estimulación óptica (OSL, optically stimulated dosimetry) se usan para la monitorización de la radiación tanto para pacientes como para personal de

---

<sup>28</sup> Stewart Bushong. Manual de Radiología para Técnicos: Física, Biología Y protección Radiológica. Protección Radiológica: Control de la exposición ocupacional. Novena edición; Editorial ELSEVIER, 2010, 40:620-623.

radiología. La detección por centelleo es la base de la gamacámara, un dispositivo de imagen utilizado en medicina nuclear y que también se utiliza en los sistemas de imagen por tomografía computarizada (TC) y en los sistemas de imagen radiográficos digitales.

## DETECTORES DE GAS

Existen tres tipos de detectores de radiación de gas: las cámaras de ionización, los contadores proporcionales y los detectores Geiger-Muller. Aunque tienen diferentes características es la repuesta, están basados en el mismo principio de funcionamiento. Cuando la radiación atraviesa un gas, ioniza los átomos del gas. Los electrones desprendidos por la radiación son detectados como una señal eléctrica proporcional a la intensidad de la radiación.

El detector de gas consiste en un cilindro lleno de aire o de cualquier otro gas.

A lo largo del eje central del cilindro se coloca un alambre rígido llamado electrodo central. Se crea una diferencia de potencial entre el electrodo central y la pared de manera que el alambre sea positivo y la pared negativa, el electrodo central atraerá cualquier electrón liberado en la cámara por ionización.

Estos electrones forman una señal eléctrica, como un pulso de electrones o como una corriente continua. Esta señal eléctrica es entonces amplificada y medida. Su intensidad es proporcional a la intensidad de la radiación que la causó.

En general, cuanto más grande sea la cámara, más moléculas de gas habrá disponibles para la ionización y, por tanto, el instrumento será más sensible. De forma similar, si se presuriza la cámara, entonces habrá más moléculas disponibles para la ionización y la sensibilidad aun será más alta.

La sensibilidad no es lo mismo que la exactitud. Una gran exactitud significa que un instrumento puede detectar y medir la forma precisa la intensidad de un campo de radiación. La exactitud del instrumento está controlada por el diseño electrónico global del dispositivo.

*Región de combinación.* Si se aumenta despacio el voltaje en la cámara de detección de gas ideal desde cero a un nivel alto, la señal eléctrica resultante, en presencia de un nivel de radiación fijo, aumentará en fases.

Cuando el voltaje es muy bajo, ningún electrón es atraído por el electrodo central. Los pares iónicos producidos se recombinan en la cámara. Esta es conocida como la región de recombinación.

*Región de la cámara de ionización.* Cuando el voltaje de la cámara se aumenta, se alcanza un estado en el que los electrones generados por la ionización son atraídos

por el electrodo central y recolectados. El voltaje en el que esto ocurre varía según el diseño de la cámara, pero para la mayoría de los instrumentos convencionales está en el intervalo de 100 a 300V.

En radiología se utiliza diferentes tipos de cámaras de ionización; el más familiar es el instrumento de estudio portátil. Este instrumento se usa principalmente para los estudios de radiación de área. Puede medir un amplio margen de intensidades de radiación, desde 1 mR/h ( $10_{\mu}\text{Gy}_a/\text{h}$ ) hasta varios miles de R/h ( $\text{Gy}_a/\text{h}$ ).

La cámara de ionización es el instrumento elegido para medir la intensidad de radiación en área alrededor de una fluoroscopia, alrededor de generadores de radionucleídos y jeringas, en las proximidades de pacientes que contienen cantidades terapéuticas de materiales radiactivos y también fuera de barreras protectoras. Hay otras cámaras de ionización más precisa, que se utilizan para la calibración precisa del rendimiento de la intensidad de los sistemas de imagen de rayos X de diagnóstico.

Otra aplicación de una cámara de ionización de precisión es la calibración de la dosis. Estos dispositivos se utilizan diariamente en laboratorios de medicina nuclear para el análisis de material radiactivo.

*Región proporcional.* Cuando se aumenta aún más por encima de la región de ionización el voltaje de la cámara del detector ideal lleno de gas, los electrones del gas de la cámara producida por la ionización primaria se aceleran más rápido hacia el electrodo central. Cuando más rápido se mueven estos electrones, más alta es la probabilidad de que causen ionizaciones adicionales en su camino hacia el electrodo central. Estas ionizaciones adicionales producen electrones adicionales llamados electrones secundarios.

Estos electrones secundarios también son atraídos por el electrodo central y recolectados. El número total de electrones recolectados de esta forma aumenta con el incremento del voltaje de la cámara. El resultado es un pulso de electrones bastante grande para cada ionización primaria. Esta frase de la curva de respuesta de voltaje es conocida como la región proporcional.

Los contadores proporcionales son instrumentos sensibles que se usan principalmente como instrumentos de laboratorio fijos para el análisis de cantidades pequeñas de radiactividad. Una característica de los contadores proporcionales que los hace particularmente útiles es su habilidad para distinguir entre la radiación alfa y la beta. No obstante, los contadores proporcionales encuentran pocas aplicaciones en radiología clínica.

*Región Geiger-Muller.* Es un instrumento muy simple y robusto y puede adosarse indicadores sonoros exteriores, que lo hacen útiles para detectar fugas de radiación, materiales contaminados, zonas con radiactividad. Miden bajos niveles de radiación beta y gama. Este detector solo indica el número de fotones que llegan a él independientemente de la energía que estos ceden al medio.

## DETECTORES SEMICONDUCTORES

Las energías de los electrones de un átomo aislado poseen valores discretos. En los materiales aislantes o dieléctricos la energía de activación (altura de la banda prohibida) es de 5 a 6 eV. Este salto energético no puede ser logrado con agitación térmica. En los materiales conductores estas bandas están superpuestas.

Existe un tercer tipo de materiales (silicio, germanio) que tienen una energía de activación de 1 a 2eV. Este salto energético puede lograrse con agitación térmica. Un semiconductor en estado puro se le conoce como semiconductor intrínseco.

Cuando a un semiconductor intrínseco se le añaden impurezas trivalentes recibe el nombre de semiconductores extrínseco de tipo N. Cuando a un semiconductor intrínseco se le añaden impurezas trivalentes en un extremo y pentavalentes en el otro se constituye una juntura del tipo N-P.

Esta juntura es rectificante, sólo permite el paso de la corriente de la zona P a la N. Este conjunto de zona P (conductora), juntura (dieléctrica) y zona N constituye una especie de cámara de ionización sólida.

## DETECTORES DE CENTELLEO

El detector de centello se aprovecha en el hecho de que la radiación produce pequeños destellos luminosos en ciertos sólidos; Esta luz se recoge y transforma en un pulso eléctrico.

Los detectores de centelleo tienen algunas ventajas sobre los de gas:

En primer lugar, un sólido, por su mayor densidad, es más eficiente en detener la radiación que un gas. Por lo tanto la eficiencia de un detector de centelleo es muy superior a la de uno de gas, especialmente para rayos gamma.

En segundo lugar, el proceso de luminiscencia, o sea la absorción de radiación y la posterior emisión de luz, es muy rápido, disminuyendo el tiempo muerto.

El material que produce el destello se llama cristal de centelleo. Se selecciona para que tenga una alta eficiencia en absorber radiación ionizante y emitir luz. Debe ser

transparente para poder transmitir la luz producida, y debe estar a oscuras para que la luz ambiental no le afecte.

El material más empleado como cristal de centelleo es el yoduro de sodio activado con talio, NaI. Es de costo bajo y es muy estable. Otro muy común es el yoduro de cesio activado con talio, CsI, y hay otros materiales inorgánicos de usos especiales. Por otro lado, especialmente para detectar neutrones, suelen emplearse materiales orgánicos como plásticos. Para ciertas aplicaciones son útiles también los líquidos orgánicos.

Se basa en la propiedad de algunos elementos de producir luz al interactuar con la radiación. Tiene mayor eficiencia que los detectores gaseosos. Son utilizados en contaje y espectroscopía.

Inorgánicos: son cristales que poseen en general mejor rendimiento luminoso y linealidad que los orgánicos, pero tienen menor velocidad de repuesta.

Los más usados son de Ioduro de Sodio activado con Talio, Ioduro de Cesio activado con Talio, Ioduro de Li activado con Europio, Sulfuro de Zinc activado con Plata y Fluoruro de Calcio activado con Europio.

Orgánicos: en casi todos los materiales orgánicos centelladores, el proceso de excitación se desarrolla con transferencia de energía de molécula a molécula, previo a la desexcitación que generará el impulso luminoso.

Son utilizados cristales orgánicos puros tales como el antraceno y estilbeno; centelladores orgánicos en soluciones líquidas y centelladores orgánicos plásticos.

Con objeto de transformar la pequeña cantidad de luz producida por un cristal de centelleo en una señal eléctrica que se puede manejar con más comodidad, se pone en contacto con un dispositivo llamado fotomultiplicador.

## DOSÍMETROS PERSONALES

El personal expuesto normalmente a radiaciones requiere de la medida habitual de la dosis recibida y de un seguimiento de la dosis acumulada en un lapso dado. Para esto se acostumbra usar dosímetros personales, que son dispositivos sensibles a la radiación pero que por su tamaño y peso pueden ser portados individualmente con comodidad, ya sea en el bolsillo o asidos a la ropa con una pinza. Los más comúnmente empleados son los de película fotográfica, las cámaras de ionización de bolsillo y los termoluminiscentes.

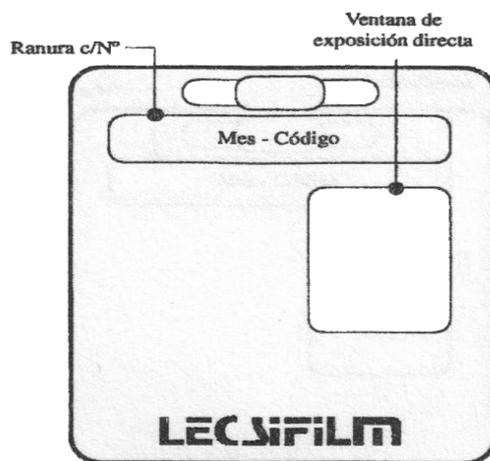
*Dosímetros de película o dosímetro fotográfico personal* aprovechan el hecho bien conocido de que la radiación vela las películas fotográficas, como sucede en las

radiografías. La emulsión fotográfica contiene granos de bromuro de plata (AgBr), y al pasar por ella una radiación deja a su paso iones de bromo y de plata suspendidos en la emulsión, como imagen latente. Cuando se revela la película aparecen los granos de plata metálica. El oscurecimiento se mide después con un densitómetro óptico, que mide la transmisión de luz, y de allí se deduce la dosis recibida.

Como el oscurecimiento depende también del tipo y de la energía de la radiación recibida, en el porta dosímetro, que generalmente es un receptáculo de plástico, se incluyen filtros en forma de pequeñas placas de elementos absorbentes de radiación, como plomo, cadmio, cobre o aluminio. Del ennegrecimiento relativo de las zonas con filtro y sin filtro se puede deducir algo sobre estas cantidades. Hay instituciones y compañías privadas que ofrecen el servicio de revelado y medida de dosis en dosímetros de película.

Los dosímetros de película son de bajo costo, sencillos de usar y resistentes al uso diario. Son sensibles a la luz y a la humedad. Permiten tener un registro permanente de la dosis acumulada, generalmente en periodos de un mes. Como la información sobre la dosis se recibe un tiempo después de recibida la exposición, son útiles especialmente para llevar el historial de exposición del personal. Sólo se pueden usar una vez. No se pueden medir con confianza dosis menores a 20 mrem.

### *Imágenes del dosímetro personal<sup>29</sup>*



<sup>29</sup> Brito Eduardo (2012). Protección Radiológica. Disponible en: [www.slideshare.net](http://www.slideshare.net/pelaonetter/proteccion-radiologica-12311639), Directory:<http://www.slideshare.net/pelaonetter/proteccion-radiologica-12311639>.



*Dosímetro de cámara de ionización de bolsillo* estos son dispositivos del tamaño de un lapicero que contienen una pequeña cámara de ionización en la que el ánodo tiene una sección fija y una móvil, que es una fibra de cuarzo metalizada. Antes de usarse se conecta momentáneamente a un cargador, en el que se le aplica un voltaje, y la fibra se separa de la parte fija por repulsión electrostática, quedando lista la cámara para ser usada. Luego, cada vez que le llega una radiación que produce ionización, los electrones que llegan al ánodo lo van descargando y la fibra se acerca nuevamente a la parte fija. El desplazamiento de la fibra depende de la exposición, y se puede observar directamente con una lente en el otro extremo del dosímetro. Se ve la fibra sobre una escala calibrada en unidades de exposición; la escala que se usa más frecuentemente va de cero a 200 mR.

Las cámaras de ionización de bolsillo tienen la ventaja de que se puede tener la lectura de la exposición inmediatamente después de recibirla. En cambio, no son de registro permanente. Su costo es más alto que el de las películas fotográficas, pero se pueden usar repetidas veces. Son sensibles a golpes y otros maltratos.



*Los dosímetros termoluminiscentes* son sustancias, como el fluoruro de litio (LiF) o el fluoruro de calcio (CaF<sub>2</sub>), que al recibir radiación muchos de los electrones producidos quedan atrapados en niveles de energía de larga vida, generalmente debidos a defectos en la red cristalina. Cuando posteriormente son calentados estos cristales, los electrones atrapados vuelven a caer a sus estados originales, al mismo tiempo emitiendo luz (de allí el nombre de termoluminiscencia). La cantidad de luz emitida es proporcional a la dosis acumulada desde la última vez que se calentó. Se mide con un fotomultiplicador.

Estos dosímetros son de costo moderado, resistentes y pueden ser usados varias veces. Son más precisos que los de placa fotográfica, pero se requiere de un equipo especial para efectuar las lecturas, las cuales no son inmediatas.

Los dosímetros personales, como los otros detectores, tienen limitaciones en cuanto al tipo de radiación y la energía a que son sensibles. Su sensibilidad es función de los mismos parámetros mencionados para los detectores en general, y deben ser calibrados junto con los sistemas que dan las lecturas.

Este tipo de detector diferido es también ampliamente utilizado como monitor individual de irradiación externa, su funcionamiento se basa en el fenómeno de excitación producido por las partículas secundarias generado por la radiación ionizante. Consisten en una pastilla de un material que posea características fotoluminiscentes relevantes tales como el fluoruro de litio (LiF), fluoruro de calcio con manganeso (CaF<sub>2</sub>, Mn), sulfato de calcio con disprosio (CaSO<sub>4</sub>; Dy).

Cuando la radiación incide sobre estos materiales algunos átomos de la red cristalina resultan excitados y no se desexcitan espontáneamente sino que los electrones

que fueron desalojados de sus órbitas quedan retenidos en niveles energéticos metaestables conocidas como “trampas”. La cantidad de estas trampas pobladas por electrones es directamente proporcional a la dosis de radiación recibida por la pastilla. La información almacenada se procede a inducir la desexcitación de los átomos por elevación de la temperatura de la pastilla, lo que incrementa la agitación térmica y posibilita el salto de los electrones desde los niveles trampas hacia los niveles energéticos originales. Esta desexcitación va acompañada por la emisión de luz que es leída por un fotomultiplicador.

Este tipo de detectores posee un rango muy amplio de medición y a los efectos de la Protección Radiológica puede considerarse que su sensibilidad es independiente de la energía. Una de sus particularidades más relevantes consiste en que la lectura es destructiva de la información almacenada, quedando el detector prácticamente en estado virgen. En la práctica, después de la lectura, se procede al recocido de la pastilla que consiste en mantener la temperatura de la misma a 400°C durante algún tiempo, a efectos de borrar la información remanente quedando el TLD en condiciones de ser nuevamente utilizado.



## UNIDADES DE RADIOLOGÍA<sup>30</sup>

La definición precisa de conceptos y magnitud es utilizadas para cuantificar la exposición a las radiaciones ionizantes es esencial para evaluar los efectos de dicha exposición.

Por esta razón, durante la realización del primer Congreso Internacional de Radiología (Londres 1925) se creó la ahora denominada Comisión Internacional de

<sup>30</sup> Stewart Bushong. Manual de Radiología para Técnicos: Física, Biología Y protección Radiológica. Diseño para radioprotección radiológica. Novena edición; Editorial ELSEVIER, 2010, 38:587-595.

Mediciones y Unidades de Radiación (ICRU, sigla en inglés) cuya función ha sido definir unidades y magnitudes de radiación. Sus primeras recomendaciones datan del año 1927, oportunidad en que define una unidad para la “cantidad de rayos x” basada en la ionización del aire, el roentgen.

Para la radioprotección, otro organismo internacional conocido actualmente como la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP, sigla en inglés) y creada en ocasión del segundo Congreso Internacional de Radiología (Estocolmo 1928) trabaja en estrecha relación con el ICRU.

A continuación se especifican algunos términos que serán utilizados en las definiciones de las magnitudes dosimétricas básicas.

## EXPOSICIÓN

Medir la exposición consiste en medir la dosis recibida por la materia de manera indirecta. Fue la primera de las técnicas de medidas aceptada dado que fue la más simple para implementar. Basada en el poder ionizante de la radiación, es suficiente colocar en su trayecto un detector capaz de cuantificar el número de ionizaciones producidas.

Los primeros detectores utilizados fueron las cámaras de ionización llenas de aire, luego de físico Gray propuso utilizar aire comprimido para aumentar la eficiencia.

La exposición se define como la relación entre el valor absoluto de la carga total de los iones creados de un mismo y la masa de volumen de aire:  $X = dQ/dm$ .

La unidad de exposición en el sistema internacional se denota con C/kg (coulomb/kilogramo).

La unidad específica ha sido el roentgen, representado por R ( $1 R = 2,58 \times 10^{-4}$  C/kg).

El reconocimiento del roentgen ha expirado el 31 de diciembre de 1985.

## DOSIS ABSORBIDA

En 1953 el ICRU introdujo la noción mucho más pertinente de dosis absorbida. Definimos actualmente la dosis recibida como la energía medida en joules por unidad de masa independiente de la radiación incidente.

Cuando encuentra la materia, la radiación ionizante entra en colisión con los átomos que la constituyen. Durante estas interacciones, dichos átomos depositan una parte o toda su energía.

La dosis absorbida se define como la relación entre la energía entregada por la radiación que incide en la materia, por unidad de masa:  $D = d\varepsilon/dm$ .

Donde  $d\varepsilon$  es la energía media entregada por la radiación ionizante a la materia en un elemento de volumen y  $dm$  es la masa de la materia contenida en ese elemento de volumen.

La definición de dosis absorbida es general y no tiene en cuenta la naturaleza de la radiación (directamente o indirectamente ionizante) ni la naturaleza del material.

La unidad de dosis absorbida en el sistema internacional se denota con J/kg (joules/kilogramo).

El nombre específico es “Gray” denotado con Gy. Un Gray corresponde a una energía depositada de 1 joule en 1 kilogramo.

## KERMA

La dosis absorbida tal como está definida no traduce totalmente los fenómenos producidos por los fotones dado que una parte de la energía es “llevada” por los electrones secundarios.

El kerma (kinetic energy released in material) introducido en 1962 tuvo por finalidad integrar este concepto de transferencia de energía cinética a los electrones del medio.

El kerma se define como la relación entre la suma de las energías cinéticas iniciales de todas las partículas cargadas puestas en movimiento por unidad de masa:  $Kd\Delta E_{tr}/dm$ .

La unidad del kerma es el gray (1Gy= 1J/kg).

La relación entre la dosis absorbida y el kerma puede ser establecida por cálculos.

## DOSIS EQUIVALENTE

Hasta este momento, la calidad de la radiación no ha sido tenida en cuenta. Sin embargo, los fenómenos físicos y la densidad del depósito de energía están directamente ligados a la naturaleza de la radiación. Por este motivo, la ICRP introdujo los factores de ponderación de la dosis. El objeto es poder prever los efectos biológicos, más o menos graves, según el tipo de radiación. Por ejemplo, la irradiación con una dosis de 1 Gy no presenta las mismas consecuencias o los mismos riesgos según se trate de partículas alfa o de rayos X.

Antiguamente representado por Q (como factor de calidad), el factor de ponderación que tiene en cuenta el tipo de radiación es representado por  $W_R$  desde 1990 (ICRP 60). Los valores de  $W_R$  se atribuyen teniendo en cuenta la nocividad de la radiación en cuestión y el riesgo de efectos estocásticos inducidos por las bajas dos.

La dosis equivalente se define como el producto de la dosis absorbida por el factor de corrección  $W_R$  que tiene en cuenta el tipo de radiación incidente y su capacidad para producir efecto adversos:  $H=D \times W_R$ .

La dos equivalente se expresa siempre en joules por kilogramos, pero el nombre específico que se adopta en el sistema internacional es el sievert en memoria de físico sueco Rolf Maximilian Sievert (1896-1966), quien ha trabajado enormemente para la radioprotección y la dosimetría clínica.

## DOSIS EFECTIVA

La dosis efectiva es una magnitud física que mide el impacto de una exposición a las radiaciones ionizantes sobre el tejido biológico. La dosis efectiva es la dosis equivalente del cuerpo entero.

Sabiendo que la radioprotección se refiere esencialmente al organismo humano y que cada tejido tiene su propia radiosensibilidad, se estableció un factor de ponderación que tiene en cuenta la naturaleza del tejido irradiado. Según este modelo, este factor denominado  $W_T$  tendrá diferentes valores según la sensibilidad del tejido.

La dosis efectiva está definida como la suma de las dosis equivalentes administradas a cada órgano ponderado por un factor  $W_T$  que tiene en cuenta la vulnerabilidad del tejido:

$$E = \sum H \cdot W_T.$$

La unidad de dosis eficaz es el sievert y puede expresarse en joules/kilogramo.

## DOSIS EFECTIVA EN EL TÉCNICO RADIÓLOGO

Toda la exposición profesional se recibe esencialmente durante la fluoroscopia. Durante la radiografía y la mamografía, el técnico se colocó detrás de una barrera protectora, por lo que no hay exposición profesional a la radiación.

Se asume que la dosis efectiva profesional es de 10% de la dosis del monitor.

## DOSIS EFECTIVA COMPROMETIDA

La dosis efectiva comprometida es una magnitud física que integra la dosis recibida por exposición interna prolongada a las radiaciones ionizantes. Esta exposición

se debe a un radionucleído introducido en el organismo, ya sea por inhalación, ingestión o vía percutánea. Los efectos biológicos dependerán del radionucleído y del tiempo de permanencia.

Con el fin de evaluar los riesgos que representa una contaminación interna, es necesario evaluar la distribución de los radionucleídos en el organismo y los efectos de la irradiación por medio de funciones matemáticas.

La dosis efectiva comprometida  $E(t)$  es la suma de las dosis equivalentes  $H(t)$  comprometidas.

La dosis equivalente comprometida es la integral en el tiempo de la tasa de dosis equivalente para cada tejido o para un órgano particular, recibida por un individuo luego de la incorporación de materia radiactiva. El tiempo ( $t$ ) es el tiempo de integración hasta los cincuenta años (cincuenta años para los adultos y setenta años para los niños).

La unidad de dosis comprometida es el sievert.

#### DOSIS EFECTIVA COLECTIVA

Este es un concepto muy importante en radioprotección. La dosis efectiva colectiva permite estimar el riesgo a que está sometido el conjunto de una población expuesta.

La dosis equivalente ( $St$ ) es la dosis efectiva colectiva ( $S$ ) que corresponde, respectivamente, a la dosis equivalente media o a la dosis efectiva media de un grupo, multiplicada por el número de personas en el grupo. Si la dosis de cada individuo es conocida, la dosis colectiva es la suma de las dosis individuales sobre un periodo dado de tiempo.

La unidad de dosis colectiva es el hombre sievert. La noción de dosis colectiva está particularmente adaptada para la radioprotección de los trabajadores.

#### REGLAMENTACIÓN Y NORMAS<sup>31</sup>

##### LEY N° 17.557

La Ley N° 17.557 es la legislación básica y fundamental para la regulación radiosanitaria del diagnóstico radiológico. La misma es de alcance nacional y ha sido adoptada en casi todas las provincias.

---

<sup>31</sup> Thomasz Esteban. Manuales Técnicos - Autoridad Regulatoria Nuclear. Marco regulatorio: Radiodiagnóstico. Ediciones Cadime, 2000, 223-230.

Esta ley determina que los equipos específicamente destinados a la generación de rayos x, cualquiera sea su campo de aplicación y objeto a que se los destine, deben ser habilitados y controlados según el lugar en que se encuentren, por autoridades de Salud Pública de la Nación, de las provincias o de la ciudad de Buenos Aires. Sin embargo, la autoridad nacional en Salud Pública podrá concurrir por sí para verificar el cumplimiento de la ley en cualquier parte del territorio nacional.

La Ley establece también los aspectos conceptuales para su reglamentación, que fue realizada a través del Decreto N° 6320/68, en base a las siguientes previsiones de la Ley:

- Registro nacional de equipos generadores de rayos x existentes en el país.
- Servicio de dosimetría individual para el personal afectado al manejo y utilización de los equipos.
- Determinación de los responsables por la tenencia y utilización de equipos.
- Dictado de normas de seguridad para los equipos, instalaciones y locales de funcionamiento.
- Requisitos para la autorización del personal encargado del manejo y uso de los equipos, incluyendo el dictado de cursos de capacitación al efecto.
- Fijación de aranceles y tasas.

También se prevé que las infracciones a las disposiciones de la ley, así como a las de su reglamentación, sean sancionadas según la gravedad y circunstancia del caso, con multa, la suspensión o cancelación de la habilitación de equipos o de las autorizaciones al personal, el decomiso de los equipos y finalmente, la clausura del establecimiento. La ley prevé el derecho de interponer recursos de apelación en caso de sanción. En las secciones siguientes se detallan las normas que deben cumplir los servicios de radiodiagnóstico, específicamente relacionadas con la utilización de rayos X.

#### *Requisitos para instalación y utilización de equipos generadores de rayos X*

Decreto N° 6320/68 - Reglamentario de la Ley N° 17.557, y Decreto N° 1648/70

El Decreto N° 6320/68 es el cuerpo instrumental y reglamento de la Ley N° 17.557, ya que fija pautas exigibles para dar cumplimiento a los principios enunciados en dicha ley.

Este Decreto reglamenta las previsiones de la ley en los siguientes puntos principales:

1. Define cuales equipos se consideran generadores de radiación x.

2. Establece las bases para la organización del Registro Catastral de equipos.
- 3 y 4. Especifican los requisitos para la habilitación de los equipos e instalaciones.
5. Detalla los requisitos que deben cumplir los responsables del uso de los equipos para obtener autorización de la correspondiente autoridad de Salud Pública. Este punto presenta los requisitos para obtener Autorizaciones Individuales en los siguientes casos:
  - a. Para radioterapia: debe ser médico especialista con experiencia no menor a tres años en el tema y además, aprobar un curso completo de Radiofísica sanitaria y radiodosimetría.
  - b. Para radiodiagnóstico (exclusivamente): debe ser médico especialista con experiencia no menor a un año en el tema y además, aprobar un curso básico de Radiofísica sanitaria.
  - c. Para radiodiagnóstico (complemento de otra especialidad): debe ser médico con experiencia no menor a un año en el tema y además, aprobar un curso elemental de seguridad radiológica.
  - d. Para radiología dental: debe ser médico u odontólogo y además, aprobar un curso elemental de seguridad radiológica.
  - e. Para otros casos: debe aprobar un curso elemental de seguridad radiológica.

Los cursos de capacitación antes mencionados son dictados y/o autorizados por las autoridades de Salud, y se realiza en instituciones de salud tanto pública como privada en todo el país.

6 y 7. Establecen la necesidad de asegurar condiciones de seguridad adecuadas en las instalaciones y para las personas, las que se precisan en las Normas Básicas de Seguridad Radiológica, requiriéndose lo siguiente:

- La dosimetría individual es obligatoria para toda persona afectada al manejo y utilización de equipos de rayos x.
- El sistema de dosimetría utilizado debe estar aprobado y autorizado por el Ministerio de Salud.
- El responsable de la instalación tiene obligación de informar a la autoridad de Salud, el listado de las personas que van a usar dosímetro, así como en forma inmediata las altas y bajas en dicha lista.
- La autoridad de Salud informa las dosis acumuladas de cada usuario.
- El responsable de la instalación debe llevar un registro de las dosis individuales y conservarlo durante 30 años. Si la instalación cesara en su funcionamiento, el registro deberá ser remitido a la autoridad de Salud para su archivo hasta que se cumpla dicho lapso.

- El no uso del dosímetro o hacer un uso indebido del mismo, podrá dar lugar a la aplicación de sanciones.

8. Precisa quienes son los responsables de las instalaciones y del uso de equipos generadores de rayos x:

De las instalaciones:

- El Director.
- El Gerente Técnico.
- Un funcionario de jerarquía / función equivalente.
- El propietario de la instalación.

Del uso de los equipos generadores de rayos x:

- Los Jefes de Servicio.
- Persona designada por la entidad.
- Única persona prestadora de servicios.

El responsable de las instalaciones o del uso de los equipos de rayos x, conservará este carácter en todo lo relativo al Decreto N° 6320/68, mientras la autoridad de Salud Pública no tome conocimiento de su relevo.

Es importante destacar la responsabilidad que asume un profesional especialista al hacerse cargo ante terceros de una instalación o equipo generador de radiaciones ionizantes; tanto por las sanciones previstas en casos de incumplimientos, como por las implicancias médico- legales de posibles instancias jurídicas.

#### *Normas básicas de seguridad radiosanitaria (resolución n° 2680/68 y modificatorias)*

Estas normas que deben ser observadas en la instalación y uso de todo generador de rayos x existente en el país, tienen por objeto asegurar la protección radiosanitaria del personal afectado a la utilización de equipos generadores de rayos x y de los miembros de la población que incidentalmente pudieren resultar irradiados.

Las Disposiciones Generales de estas normas están detalladas en su punto 3, y son las siguientes:

3.1. No se afectará a tareas que impliquen exposición a rayos x a menores de dieciocho (18) años.

3.2. No se afectará a tareas que impliquen exposición a rayos x a personas que no hayan sido debidamente prevenidas por sus superiores respecto de los posibles riesgos inherentes a dichas tareas e instruidas sobre los medios de protección a emplear.

3.3. No se admitirá la permanencia ni circulación de personas no imprescindibles a los fines de los estudios o tratamientos radiológicos, durante los períodos de irradiación con equipos generadores de rayos x, en los recintos en que se encuentran instalados, o dentro de los límites que al efecto determina la autoridad de Salud Pública en cada instalación.

3.4. El dueño de la instalación debe contemplar la utilización de los medios de protección más adecuados, a fin de impedir que tanto el personal como el público puedan recibir dosis superiores a los límites anuales para trabajadores y para los miembros de la población que incidentalmente pudieren resultar irradiados.

3.5. En los estudios o tratamientos que se realicen en seres humanos debe colimarse el haz de rayos x en la máxima medida compatible con el fin perseguido. Asimismo, deberán emplearse elementos de protección para aquellas regiones del cuerpo cuya exposición no contribuya en nada a los fines del diagnóstico o terapia, en particular gónadas y órganos hematopoyéticos.

3.6. Todo responsable del uso de una instalación debe hacer llevar, para cada tubo de rayos x, un registro de todas las placas radiográficas con él obtenidas o estudios radioscópicos o tratamientos realizados.

En el registro se consignará para cada placa, estudio o tratamiento:

- a. Fecha
- b. Denominación u objeto del estudio o tratamiento.
- c. Tensión con que ha operado el tubo (en kilovolt).
- d. Corriente que se ha establecido (en miliamperes) o la carga que ha circulado (en miliamperes-segundo).
- e. Tiempo durante el que se ha irradiado (en segundos o minutos).

Los Límites de Dosis establecidos por estas normas en su punto 4, fueron actualizados en los años 1986 y 1991 mediante la Resolución N° 273/86 y la Disposición N° 30/91.

En efecto, el establecimiento de límites dosis constituye un proceso en permanente evolución, estrechamente vinculado con el avance del conocimiento de los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes, lo que motivó la actualización de los límites de dosis siguiendo recomendaciones internacionales. Por otra parte, cabe aclarar que tanto las normas básicas como las modificaciones de los años 1986 y 1991 emplean el término “Dosis máxima permisible”, pero dado que los conceptos actuales de seguridad radiológica requieren que toda dosis -aún aquellas por debajo de los límites-

deben estar justificadas y optimizadas además de cumplir los límites establecidos, es conveniente referirse a tales dosis como límites de dosis anuales.

A continuación se detallan los límites de dosis actualmente vigentes, que están establecidos en la Disposición N° 30/91.

En primer lugar se excluye de estas normas a las personas cuando, como paciente, deban ser objeto de estudios o tratamientos radiológicos, debiendo aplicarse en dichos casos un balance entre el riesgo y el beneficio que justifique la práctica. También a los efectos de la evaluación de las dosis acumuladas individualmente, no se tomarán en consideración las dosis originadas por el fondo natural de radiación.

#### 4.1. Límites para la Exposición Ocupacional

4.1.1. Los límites de dosis para aquellas personas que, en razón de sus tareas habituales, resultaran expuestas a rayos x:

a. Para irradiación uniforme en todo el cuerpo o en particular gónadas y órganos hematopoyéticos: 20 miliSievert/año o bien, 100 miliSievert/5 años (lo que da un promedio de 20 miliSievert/año) y no mayor de 50 miliSievert en un año.

b. Para irradiación de cristalino: 150 miliSievert/año.

c. Para irradiación de cualquier otro sector del organismo, en especial piel, manos y pies: 500 miliSievert/año.

4.1.2. Toda mujer en estado de gravidez deberá notificarlo, mediante certificación médica, al responsable de la instalación donde realice sus tareas. A partir de ese momento y hasta el parto, la dosis total en la superficie del abdomen no deberá ser superior a 2 miliSievert, recomendándose especialmente evitar toda exposición entre la octava y décimoquinta semana del embarazo.

#### 4.2. Límites para Exposición Incidental

4.2.1. El límite de dosis anual para los miembros de la población que incidentalmente pudieren resultar irradiados, es decir aquellas personas no directamente vinculadas a tareas que impliquen exposición ocupacional y que, por razones de proximidad pudieran resultar irradiados, es de 1 miliSievert/año.

4.2.2. Cuando se ha irradiado a mujeres que desconocían su estado de gravidez, la autoridad de Salud podrá requerir al responsable del uso de la instalación la presentación del registro indicado en 3.6. Y al profesional que efectuó la práctica un informe que detalle las condiciones técnicas bajo las cuales se efectuó la irradiación. En base a los datos aportados estimará la dosis de radiación recibida por la paciente, la cual será comunicada al profesional especializado.

4.2.3. En caso de no presentarse el registro indicado en 3.6, la autoridad de Salud puede cancelar la Autorización Individual del responsable de la instalación.

4.2.4. A fin de evitar la posibilidad de irradiar a una mujer embarazada en la ignorancia de su estado, es prudente considerar como embarazada a cualquier mujer que acuda para someterse a un examen radiográfico si el período menstrual se ha retrasado o le ha faltado por completo, a menos que exista información que indique la ausencia de embarazo. Cuando el ciclo es tan irregular que resulta difícil conocer si ha faltado un período, es razonable averiguar si la paciente está o no embarazada mediante una prueba de embarazo.

4.2.5. Para reducir la frecuencia de exposiciones involuntarias al feto es obligatorio colocar carteles en lugares visibles de la instalación, donde se aconseje a las pacientes informar al personal antes del examen cuando crean en la posibilidad de estar embarazadas.

#### *5. Caso de exposición superior al límite de dosis establecido*

5.1. Toda vez que se comprobare que un miembro del personal ha recibido dosis superiores a las establecidas en 4.1, el responsable del uso de la instalación debe presentar a la autoridad de Salud Pública un informe que aclare, hasta donde sea posible, las circunstancias determinantes de tal hecho, de conformidad con el artículo 20 de la reglamentación de la Ley 17.557.

5.2. Si la dosis debida a un accidente fuere superior a 5 veces los límites anuales establecidos en 4.1.1, la autoridad de Salud Pública habrá de decidir si la persona que ha recibido dicha dosis podrá continuar afectada a tareas que impliquen exposición a radiaciones ionizantes.

#### *6. Supervisión de la seguridad radiosanitaria*

6.1. La autoridad de Salud Pública inspeccionará periódicamente las instalaciones de rayos x, previamente habilitadas, a fin de verificar:

- a. Las condiciones de seguridad de las instalaciones por medio de la evaluación de los niveles de exposición en los lugares que puedan ser ocupados por el personal o el público; estos niveles deberán ser tales que aseguren el cumplimiento de los límites de dosis establecidos.
- b. La seguridad de los métodos de trabajo.
- c. El empleo de los medios de protección adecuados.

6.2. La autoridad de Salud Pública exigirá, cuando corresponda, las modificaciones en las instalaciones o la adición de materiales blindados que la seguridad del personal o del público requiera. Asimismo podrá exigir la utilización de los medios de protección técnicamente más adecuados.

### *7. Dosimetría*

7.1. Toda persona directamente afectada a tareas que impliquen exposición a rayos x, debe solicitar a la autoridad nacional de Salud Pública una cartilla individual en la que se asentarán periódicamente las dosis de radiación medidas. Dicha cartilla constituye un documento personal e intransferible que será exigido por el responsable del uso de cada instalación al personal bajo su dependencia, según lo establecido en el artículo 30 de la reglamentación de la Ley N° 17.557.

7.2. El responsable del uso de cada instalación, debe solicitar a la autoridad nacional de Salud Pública la prestación del servicio de dosimetría para todo el personal del servicio que posea cartilla.

7.3. En cada establecimiento y a cada una de las personas para las que se hubiere solicitado el servicio de dosimetría, la autoridad nacional de Salud Pública asigna un dosímetro. El mismo deberá ser utilizado permanentemente por el usuario, durante el desempeño de sus tareas en el correspondiente establecimiento, sin poder retirarlo del mismo.

7.4. Cuando el tipo de tareas así lo justifique, la autoridad nacional de Salud Pública podrá asignar a una persona más de un dosímetro para su uso simultáneo en una instalación.

7.5. Cuando una persona con dosímetro asignado cesare en sus tareas, el responsable del uso de la instalación deberá comunicarlo de inmediato a la autoridad nacional de Salud Pública y proceder a la devolución del respectivo dosímetro.

7.6. El responsable del uso de la instalación procederá a cambiar, en las fechas que se le indiquen, el material sensible de los dosímetros asignados al personal por los que, al efecto, le envíe la autoridad nacional de Salud Pública, reintegrando inmediatamente a dicho organismo el material sensible ya expuesto.

7.7. Evaluadas las dosis acumuladas por los dosímetros, la autoridad de Salud Pública comunicará los resultados de tales evaluaciones al responsable del uso de cada instalación.

7.8. El responsable del uso de la instalación asentará el valor de las dosis en las cartillas del personal y en registros que al efecto deberá llevar para cada integrante del personal del servicio; en el mismo ha de constar:

- Apellido y nombre.
- Número de cartilla.
- Período en los que se han evaluado las dosis y los correspondientes valores de las mismas. El registro deberá ser conservado por el lapso indicado en el artículo 21 de la reglamentación de la Ley N° 17.557.

7.9. Las evaluaciones a que se hace referencia en 7.7, se efectuarán con la frecuencia necesaria para garantizar el cumplimiento de lo establecido en 4.1.

7.10. La autoridad nacional de Salud Pública fijará las tasas que correspondan por la prestación del servicio de dosimetría.

#### *Norma para prestadores del servicio de dosimetría personal (resolución n° 631/90)*

Esta Resolución permite a prestatarios privados de Servicios de Dosimetría personal, el desarrollo de esta tarea pero sujeta a supervisión oficial.

En resumen, sus puntos más importantes determinan lo siguiente:

- El Servicio de Dosimetría puede ser prestado tanto por la autoridad de Salud, como por personas públicas o privadas que cumplan las normas.
- Debe estar inscripto.
- Debe informar las dosis de cada usuario al responsable de uso de la instalación o a la autoridad de Salud.
- Si algún dosímetro supera los límites de dosis establecidos debe informar al responsable del uso de la instalación, a la Autoridad Nacional de Salud y a la Autoridad Provincial de Salud si así correspondiera.
- Cada usuario debe poseer una cartilla individual otorgada por la autoridad de Salud.
- El responsable debe mantener los registros de dosis al día.
- Los prestadores de servicios de dosimetría deben conservar los registros y las placas por 30 años.

#### *Reglamentación para estudios mamográficos (disposición n° 560/91)*

Esta Disposición reglamenta la realización de estudios mamográficos y establece una serie de especificaciones técnicas (detalladas en dos anexos a la Disposición), que deben cumplirse al llevar a cabo estos estudios.

La Disposición N° 560/91 establece los siguientes criterios normativos:

- Las instalaciones deben estar habilitadas para realizar estudios mamográficos.
- Los profesionales actuantes deben poseer la debida Autorización Individual.
- Los equipos radiológicos deben poseer determinadas características.
- Las películas radiográficas deben tener pantallas reforzadoras diseñadas especialmente para mamografía.
- El proceso de control de calidad debe verificarse periódicamente, estableciendo programas de garantía de calidad.
- Las dosis correspondientes a las técnicas utilizadas en la mamografía deben medirse.
- La creación de una Comisión Asesora en Mamografía para asesorar en aspectos vinculados al tema.

*Reglamentación para equipos de control de equipajes (resolución n° 61/92)*

Esta Resolución reglamenta las instalaciones y equipos de rayos x destinados al control de equipajes. Si bien los equipos destinados al control de equipajes no tienen relación con el sector salud, se hace hincapié en la creciente utilización de los mismos y a los riesgos concretos sobre la salud de la población que pudiera resultar irradiada.

La Resolución N° 61/92 establece criterios normativos relacionados con los equipos e instalaciones, la responsabilidad por la instalación y por el uso del equipo, aspectos del diseño de los equipos y de su operación, la habilitación de los mismos, requisitos de protección radiológica y señalización de los equipos.

## VIII - MATERIALES Y MÉTODOS

### DISEÑO METODOLÓGICO.

**Tipo de estudio:** Se realizó un estudio descriptivo, no experimental, transversal y con datos primarios. La investigación es de campo, como el estudio se realizó en los servicios de radiología de la ciudad de Casilda.

### Unidad de análisis

De una población de 20 Técnicos Radiólogos, se analizaron los datos de 10 Técnicos Radiólogos encuestados, dicha muestra está formada por: 5 de ellos son del servicio de Diagnóstico por Imágenes privado que no posee internación: la labor del Técnico Radiólogo se limita a radiología convencional directa y contrastada y estudios de mamografía. Y los 5 restantes pertenecen al servicio de Diagnóstico por Imágenes público que además de realizar radiología convencional Directa y Contrastada y estudios de Mamografía, también el Técnico Radiólogo se desempeña en la Radiología Móvil en las áreas de Quirófano, Unidad de Terapia Intensiva (UTI), Neonatología y Sala de Internación.

### Selección del diseño.

Cuantitativo, ya que los datos obtenidos se convierten en número para ser sometidos a análisis estadísticos.

### Lugar.

La investigación se llevó a cabo en dos servicios de diagnóstico por imagen de la ciudad de Casilda, provincia de Santa Fe.

Casilda, es la cabecera del Departamento Caseros que se encuentra a 56 km de Rosario y a 208 km de la Ciudad de Santa Fe. Está a la vera de la Ruta Nacional 33.

Se eligió la ciudad de Casilda para realizar dicho estudio, debido a que es mi lugar de residencia y donde me desarrollo laboralmente, lo que permitió tener acceso a la información sin ningún problema.

**Universo:** Lo constituye los Técnicos de Diagnóstico por Imágenes de dos servicios de la ciudad de Casilda, durante el periodo comprendido entre diciembre 2012 y Septiembre 2013.

### Criterios de inclusión.

- Estudio realizado en el departamento de radiología para evaluar el uso del dosímetro personal.
- Técnicos Radiólogos que usen dosímetro personal.
- Consentimiento para participar en el estudio.

### **Criterios de exclusión.**

- Técnicos Radiólogos que no usen dosímetro personal.
- Técnicos radiólogos que no quisieron participar del estudio.

### **Variable.**

Para la realización del presente estudio se escogió como variable: la ponderación del uso del dosímetro personal.

### **Técnicas de recolección de datos.**

Para la realización del estudio y poder lograr los objetivos planteados, se utilizó como vía de recolección de datos la encuesta.

### **Procedimiento.**

La encuesta se realizó en forma personalizada, explicándoles el porqué de su problemática y las pautas para contestar la encuesta. Fue realizada durante el periodo de mes de agosto del año 2013.

La presente encuesta está conformada por un grupo de preguntas que se dirigen a un segmento de personas específicas que nos permitirán conocer sus opiniones, inquietudes y preferencias sobre el uso de la dosimetría personal. La aplicación de encuesta permitió recoger la información en forma directa sobre el uso de la dosimetría personal; Para el diseño de este instrumento se realizó una lista de 15 preguntas relacionados con la radiología.

- Edad
- Sexo
- Titulación
- ¿Desde hace cuánto tiempo usted se ha desempeñado como Técnico Radiólogo?
- ¿Conoce los efectos de las radiaciones en el tejido vivo?
- ¿Conoce los beneficios de la Dosimetría Personal?
- ¿Conoce los distintos tipos de Dosímetros que existen?
- ¿Confía en la información dosimétrica?
- ¿Lee mensualmente los informes dosimétricos?
- ¿Utiliza el dosímetro personal habitualmente en el área de su trabajo?
- ¿Utiliza el dosímetro si se coloca el delantal plomado?
- ¿Le interesa saber más sobre Dosimetría Personal?

- ¿Sabe cuáles son los límites de dosis establecidos?
- ¿Conoce la LEY de Protección Radiológica?
- ¿Le gustaría recibir información sobre Radioprotección?

### **Análisis de los datos.**

Se realizó un análisis cuantitativo y comparativo de los datos recabados a través de la encuesta realizada a los Técnicos Radiólogos de los servicios de Diagnóstico por Imágenes tanto Público y Privado de la ciudad de Casilda.

Pudiendo así establecer, cuál de los servicios de Diagnóstico por Imágenes no pondera correctamente la consecuencia que puede traer el mal uso del dosímetro personal.

## **IX - RESULTADOS.**

Los resultados obtenidos en este estudio sobre la ponderación que tiene el Técnico Radiólogo de dos servicios de Diagnóstico por Imágenes, uno Público y otro Privado, de la ciudad de Casilda al uso del dosímetro personal, fueron los siguientes:

La encuesta determinó que hay mayor población de Técnicas Radiólogas femeninas en ambos servicios, en el servicio de Diagnóstico por Imágenes Privado predomina las edades entre 31 y 40 años, mientras que, en el servicio de Diagnóstico por Imágenes Público prevalece las edades entre 31 a 50 años; Nos determinó que la antigüedad de dos de los Técnicos Radiólogos en ambos establecimientos es mayor a 16 años.

También se determinó que el 100% de los encuestados tiene noción sobre el efecto que produce la radiación en el tejido vivo.

Los datos demuestran una diferencia entre ambos servicios de Diagnóstico por Imágenes donde se observa que en el servicio privado los 5 técnicos tienen título de Técnicos Radiólogos, en cambio el servicio público tienen diferentes capacitación en su personal de radiología tres de ellos Técnicos Radiólogos, uno Licenciado en Producción de Bioimágenes y otro Técnico en Diagnóstico por Imagen.

Los resultados también demuestran que en el servicio de Diagnóstico por Imágenes Privado 80% de los encuestados confían en la información dosimétrica y mientras que solo el 60% de los encuestados en el servicio público no confía en la información dosimétrica.

En el servicio de Diagnóstico por Imágenes Privado el 100% de los encuestados no lee los informes de dosimetría, en cambio en el servicio de Diagnóstico por Imágenes Público 60% de los encuestados leen mensualmente sus informes de dosimetría.

De los datos obtenidos en el servicio de Diagnóstico por Imágenes privado el 100% de los encuestados no utiliza el dosímetro personal, en cambio, en el servicio Público solo el 40 % utiliza el dosímetro personal.

En el servicio de Diagnóstico por Imágenes privado el 100% de los encuestados no utiliza el dosímetro personal si se coloca el chaleco plomado, en cambio, en el servicio Público solo el 40 % utiliza el dosímetro personal cuando se coloca el chaleco plomado.

El 80% de los encuestados del servicio de Diagnóstico por Imágenes privado no tiene noción sobre los límites de dosis establecidos, mientras que, el servicio por Imágenes público 60% conoce los límites de dosis establecidos.

El 100% de los encuestados de ambos establecimientos le gustaría informarse más sobre la Radioprotección.

## X - CONCLUSIÓN.

Debido a la falta de ponderación que tiene el Técnico Radiólogo en el uso del dosímetro personal en los servicios de Diagnóstico por Imágenes público y privado de la Ciudad de Casilda recabado a través de las encuestas, se evidencia el escaso compromiso y conciencia que tienen los Técnicos Radiólogos con respecto al uso del dosímetro personal en sus diferentes áreas (Radiología convencional directa, Contrastada, Mamografía, Tomografía Axial Computada, Quirófano, Unidad Terapia Intensiva, Neonatología y Sala de Internación).

Observándose también que en el servicio de Diagnóstico por Imágenes privado los encuestados manifestaron que no pueden tener acceso a lectura mensual de los informes dosimétricos y que no contaban con la información necesaria sobre lectura de los mismos. También se pudo verificar que en el servicio de Diagnóstico por Imágenes público los Técnicos Radiólogos no confían en la información dosimétrica, por eso no le dan importancia a su uso.

Además de la falta del uso del dosímetro personal se reflejó la irresponsabilidad de la no utilización del delantal plomado ante la exposición en radiaciones ionizantes en las áreas de Quirófano, Unidad Terapia Intensiva, Neonatología y Sala de Internación.

Finalmente podemos afirmar lo establecido en nuestra hipótesis, donde el desarrollo del estudio nos dio evidencia que los Técnicos Radiólogos no ponderan correctamente las consecuencias que puede traer el mal uso del dosímetro personal, afectando directamente su calidad de vida y reducción de la esperanza de vida.

## **XI - RECOMENDACIONES.**

En cuanto al desarrollo de los objetivos específicos de la investigación y la problemática presentada, se sugieren las siguientes recomendaciones:

- 1- Capacitación frecuente a los Técnicos Radiólogos sobre los riesgos que se presentan con la exposición a radiación ionizante.
- 2- Instruir al personal periódicamente mediante cursos, talleres y charlas sobre la importancia del cuidado y del uso del dosímetro personal en las áreas de Radiología convencional directa, Contrastada, Mamografía, Tomografía Axial Computada, Quirófano, Unidad Terapia Intensiva, Neonatología y Sala de Internación.
- 3- Control estricto a los Técnicos Radiólogos sobre el uso de la dosimetría personal.
- 4- Actualización al personal en materia de protección, seguridad radiológica y bioseguridad.
- 5- Designar un oficial de protección radiológica, que vigile y haga cumplir las normas establecidas.

## XII - BIBLIOGRAFÍA.

- <sup>1</sup> Charles A. Jacobi. Manual de Tecnología Radiológica. Cuarta edición; Editorial EL ATENEIO, 1980, 1:3.
- <sup>2</sup> Ceja Andrade Israel. (2003). “Análisis y determinación del daño genético-ambiental de las radiaciones ionizantes en el personal ocupacionalmente expuestos del Hospital Civil e Belén de Guadalajara”. Tesis (Maestría en Ciencias de la Salud Ambiental). Universidad de Guadalajara. CUCBA. México.
- <sup>3</sup>DIGNA ALEXANDRA YELA TAPIA. (2011). “Estudio de los riesgos laborales biológicos y físicos, elementos de protección personal en médicos y trabajadores de la salud en el área de Imagenología del hospital regional IESS Dr. TMC”. Universidad Estatal de Milagro Instituto de Postgrado y Educación Continua. Guayas, Ecuador.
- <sup>4</sup>Dr. Ronald cueva Viteri. (2008). “Vigilancia Médica en trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes”. Tesis para la obtención de la maestría internacional de seguridad, salud y medio ambiente. Universidad San Francisco de Quito. Ecuador.
- <sup>5</sup> Lic. Ariel Sánchez. “Exposición ocupacional en el personal de radiología”. (2011). Universidad Abierta Interamericana. Facultad de Medicina y Ciencia de la Salud. Licenciatura en Producción de Bioimágenes. Sede Regional Rosario, Argentina.
- <sup>6</sup> Stewart Bushong. (2010). Manual de Radiología para Técnicos: Física, Biología Y protección Radiológica. “Efectos Locales sobre los tejidos: Cataratas” Novena edición; Editorial ELSEVIER, 36:551.
- <sup>7</sup>Stewart Bushong. (2010). Manual de Radiología para Técnicos: Física, Biología Y protección Radiológica. “Acortamiento de la Esperanza de Vida” Novena edición; Editorial ELSEVIER, 36:552.
- <sup>8</sup>Stewart Bushong. (2010). Manual de Radiología para Técnicos: Física, Biología Y protección Radiológica. “Efecto Tardíos de la Radiación: Radiólogos” Novena edición; Editorial ELSEVIER, 36:557.
- <sup>9</sup>Tentoni Ubaldo. Bases de Radiofísica. Interacción entre rayos X y materia radioprotección. FAARDIT, 2010, 8:198.
- <sup>10</sup>Tentoni Ubaldo. Bases de Radiofísica. Interacción entre rayos X y materia radioprotección. FAARDIT, 2010, 8:199-200.
- <sup>11</sup>Tentoni Ubaldo. Bases de Radiofísica. Interacción entre rayos X y materia radioprotección. Efecto biológico de las radiaciones ionizantes. FAARDIT, 2010, 8: 200-2003.

- <sup>12</sup>Stewart Bushong. Manual de Radiología para Técnicos: Física, Biología Y protección Radiológica. Efectos inmediatos de la radiación. Novena edición; Editorial ELSEVIER, 2010, 35:535-537.
- <sup>13-14</sup>Stewart Bushong. Manual de Radiología para Técnicos: Física, Biología Y protección Radiológica. Efectos inmediatos de la radiación. Novena edición; Editorial ELSEVIER, 2010, 35:538-548.
- <sup>15</sup>Dillenseger J.P, Moerschel E. Manual para técnicos radiólogos. Radiobiología: Radiación y embarazo, Irradiación in útero. Ediciones Journal, 2012, 14:367.
- <sup>16</sup>Stewart Bushong. Manual de Radiología para Técnicos: Física, Biología Y protección Radiológica. Control de la dosis de la radiación profesional. Novena edición; Editorial ELSEVIER, 2010, 40:614-616.
- <sup>17</sup>Stewart Bushong. Manual de Radiología para Técnicos: Física, Biología Y protección Radiológica. Control de la dosis de la radiación profesional. Novena edición; Editorial ELSEVIER, 2010, 40:616-620.
- <sup>18</sup>Stewart Bushong. Manual de Radiología para Técnicos: Física, Biología Y protección Radiológica. Control de la dosis de la radiación profesional. Novena edición; Editorial ELSEVIER, 2010, 40:620 -625.
- <sup>19</sup>Stewart Bushong. Manual de Radiología para Técnicos: Física, Biología Y protección Radiológica. Control de la dosis de la radiación profesional. Novena edición; Editorial ELSEVIER, 2010, 40:625-628.
- <sup>20</sup>Bontrager Kenneth L. Posiciones Radiológicas y Correlación Anatómica. 5ª Ed. Medica Panamericana, 2004, 1:54.
- <sup>21</sup>Dillenseger J.P, Moerschel E. Manual para técnicos radiólogos. Radiobiología y Radioprotección. Ediciones Journal, 2012, 15:378-382.
- <sup>22</sup>Brito Eduardo (2012). Protección Radiológica. Disponible en: [www.slideshare.net](http://www.slideshare.net), Directory:<http://www.slideshare.net/pelaonetter/proteccion-radiologica-12311639>.
- <sup>23-24</sup> Dillenseger J.P, Moerschel E. Manual para técnicos radiólogos. Radioprotección. Ediciones Journal, 2012, 15:371.
- <sup>25</sup>Dillenseger J.P, Moerschel E. Manual para técnicos radiólogos. Radioprotección. Ediciones Journal, 2012, 15:371-373.
- <sup>26</sup>Stewart Bushong. Manual de Radiología para Técnicos: Física, Biología Y protección Radiológica. Protección Radiológica: Control de la exposición ocupacional. Novena edición; Editorial ELSEVIER, 2010, 40:620-623.

<sup>27</sup>Stewart Bushong. Manual de Radiología para Técnicos: Física, Biología Y protección Radiológica. Diseño para radioprotección radiológica. Novena edición; Editorial ELSEVIER, 2010, 40:620-621.

<sup>28</sup>Stewart Bushong. Manual de Radiología para Técnicos: Física, Biología Y protección Radiológica. Protección Radiológica: Control de la exposición ocupacional. Novena edición; Editorial ELSEVIER, 2010, 40:620-623.

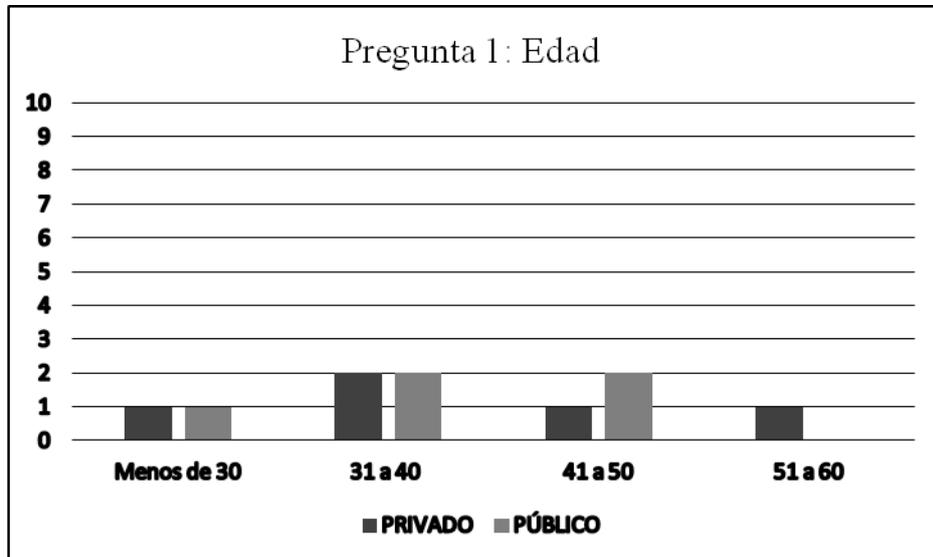
<sup>29</sup>Brito Eduardo (2012). Protección Radiológica. Disponible en: [www.slideshare.net](http://www.slideshare.net), Directory:<http://www.slideshare.net/pelaonetter/proteccion-radiologica-12311639>.

<sup>30</sup>Stewart Bushong. Manual de Radiología para Técnicos: Física, Biología Y protección Radiológica. Diseño para radioprotección radiológica. Novena edición; Editorial ELSEVIER, 2010, 38:587-595.

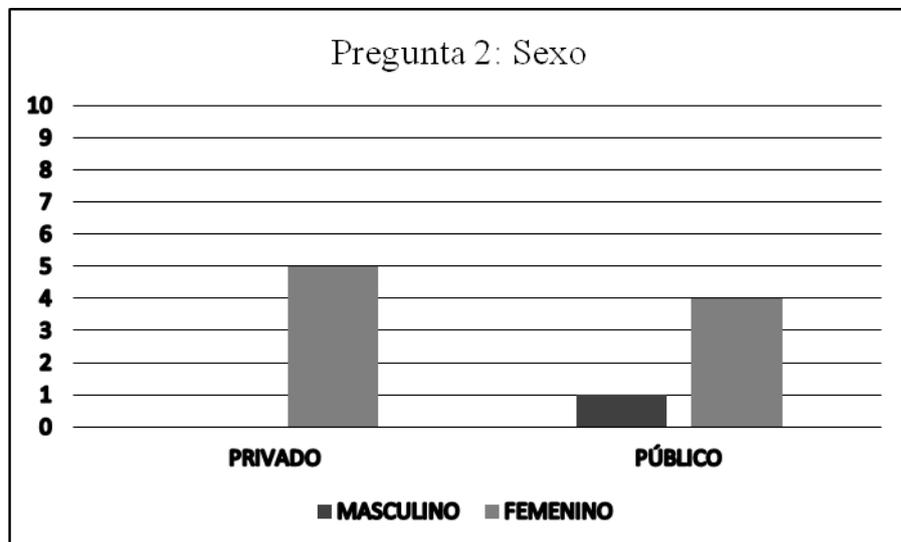
<sup>31</sup>Thomasz Esteban. Manuales Técnicos - Autoridad Regulatoria Nuclear. Marco regulatorio: Radiodiagnóstico. Ediciones Cadime, 2000, 223-230.

### XIII - ANEXOS

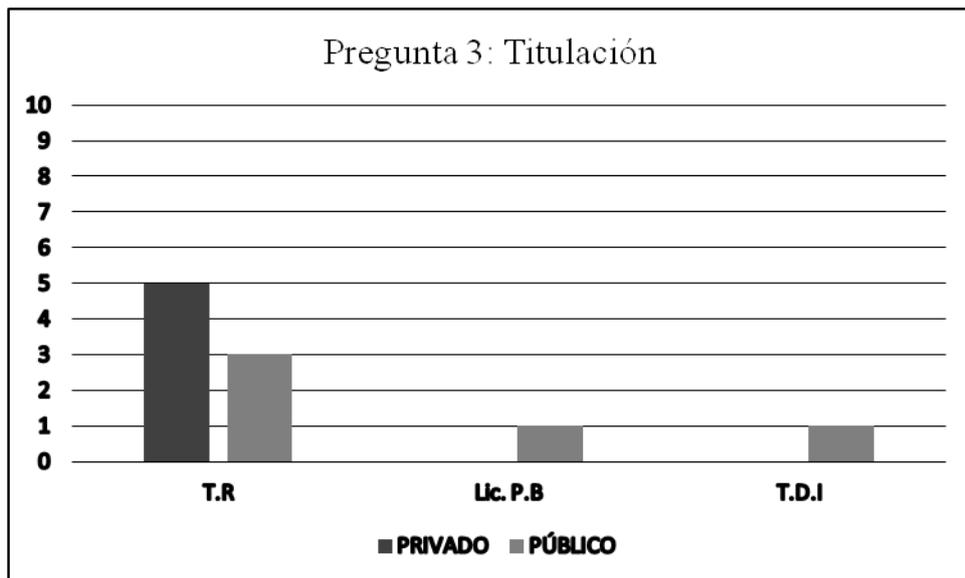
Los datos obtenidos de las encuestas realizadas en los servicios de Diagnóstico por Imágenes Privado y Público, con una muestra de 10 Técnicos Radiólogos, sean analizados estadísticamente y graficados en barras:



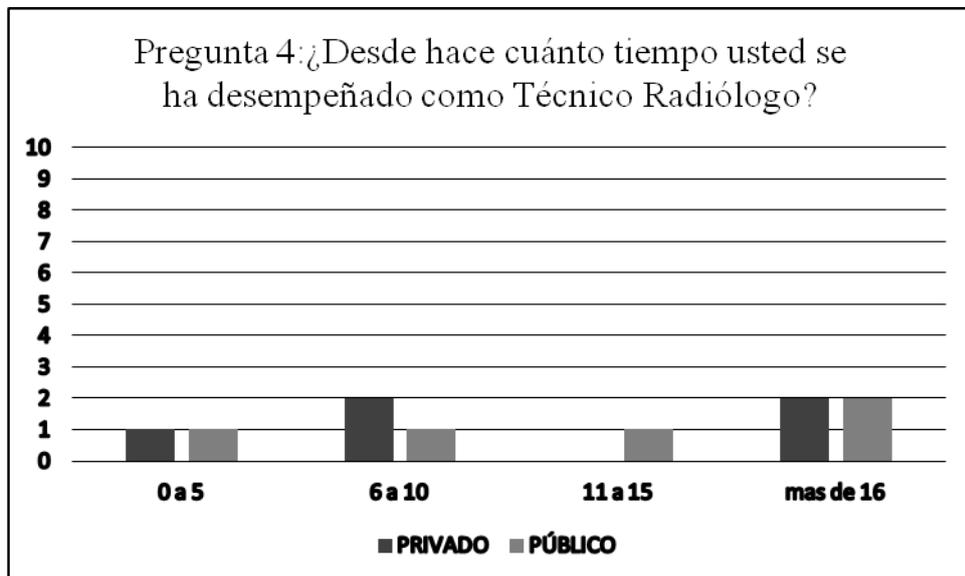
Los resultados obtenidos demuestran que en el servicio de Diagnóstico por Imágenes Privado predomina las edades entre 31 y 40 años, en cambio, en el servicio de Diagnóstico por Imágenes Publico prevalece las edades entre 31 a 50 años.



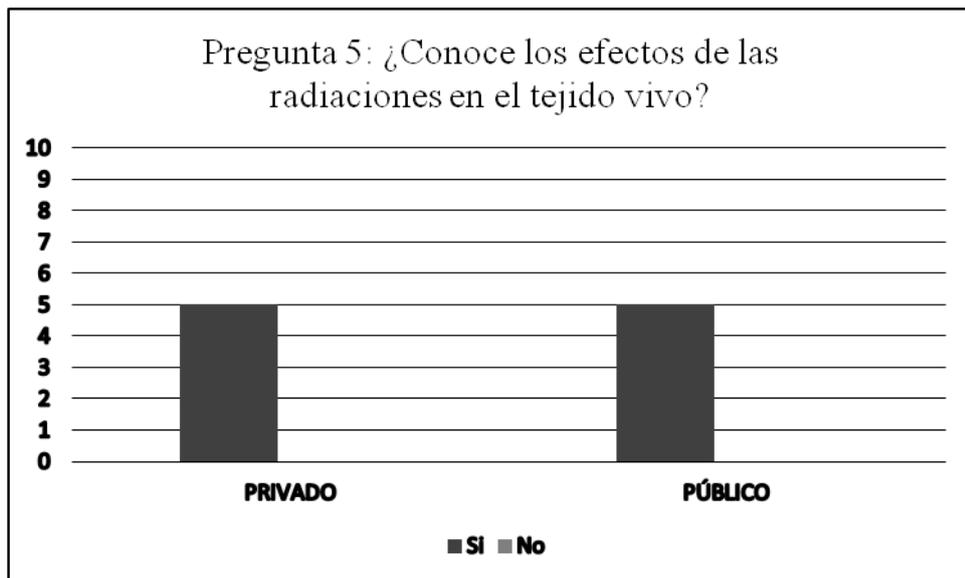
Los resultados demuestran que en ambos servicios de Diagnósticos por Imágenes predomina el sexo femenino debido que ha ocupado un gran espacio laboral en el área de radiología, dado que las mujeres son menos sensibles a la radiación que los hombres.



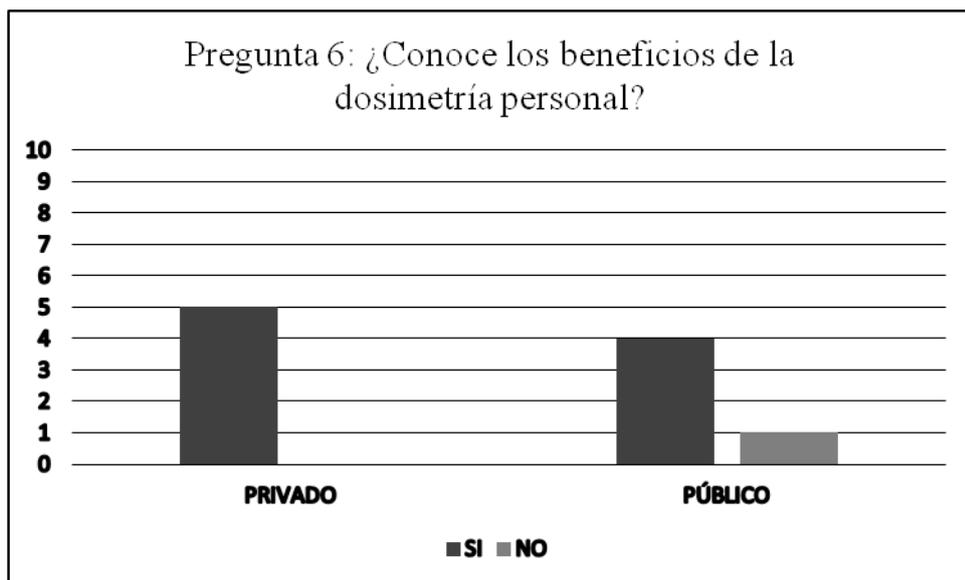
Los resultados demuestran una diferencia entre ambos servicios de Diagnóstico por Imágenes donde se observa que en el servicio privado los 5 técnicos tienen título de Técnicos Radiólogos (T.R), en cambio el servicio público tiene diferentes capacitaciones en su personal de radiología tres son Técnicos Radiólogos (T.R), un Licenciado en Producción de Bioimágenes (Lic. P.B) y un Técnico en Diagnóstico por Imagen (T.D.I).



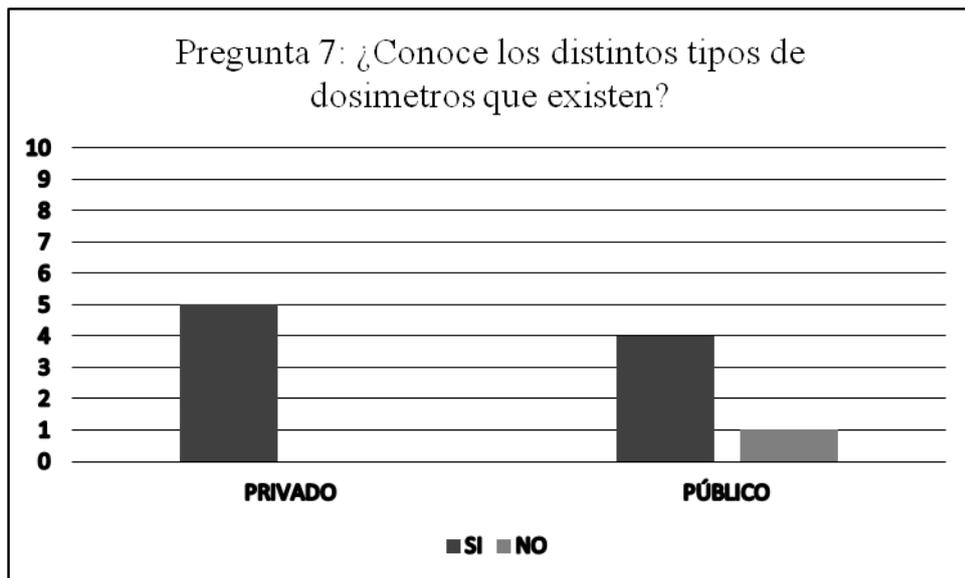
Los Resultados obtenidos nos determinan la antigüedad de dos de los Técnicos Radiólogos en ambos establecimientos es mayor a los de 16 años.



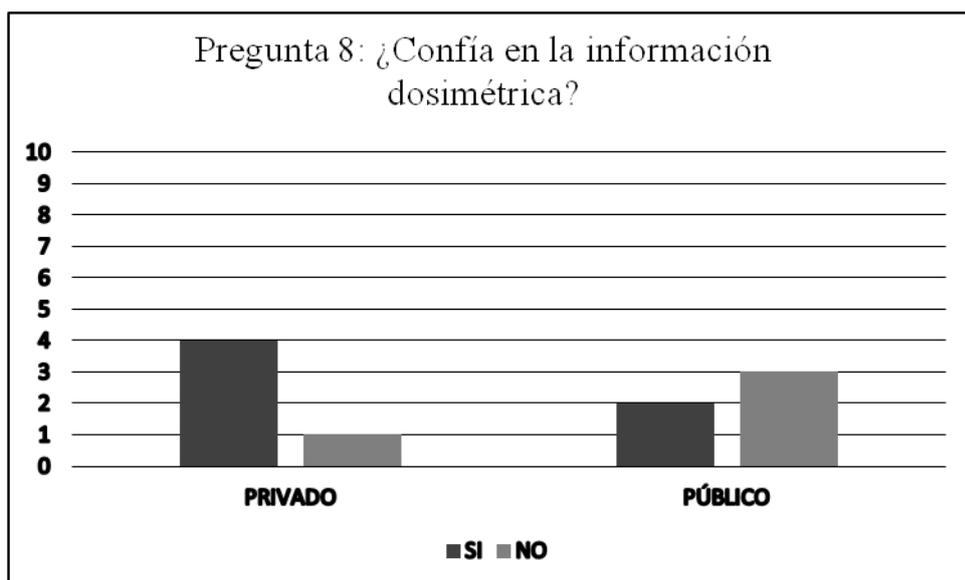
Los datos obtenidos nos indican que el 100 % de los Técnicos encuestados tiene conocimiento sobre los efectos de la radiación en el tejido vivo.



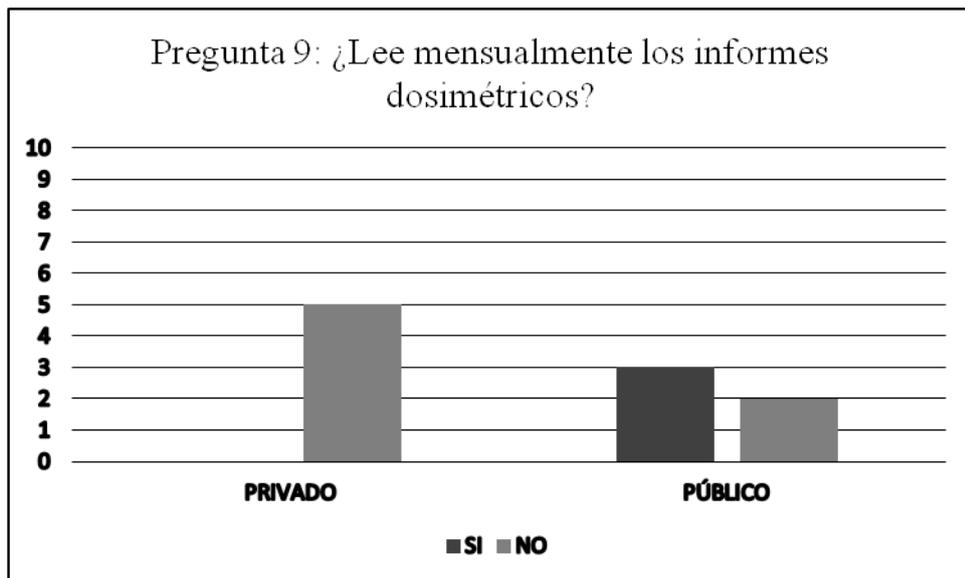
Los resultados demuestran que la mayoría de los encuestados de ambos servicios de Diagnóstico por Imágenes tiene conocimiento sobre los beneficios de la dosimetría personal.



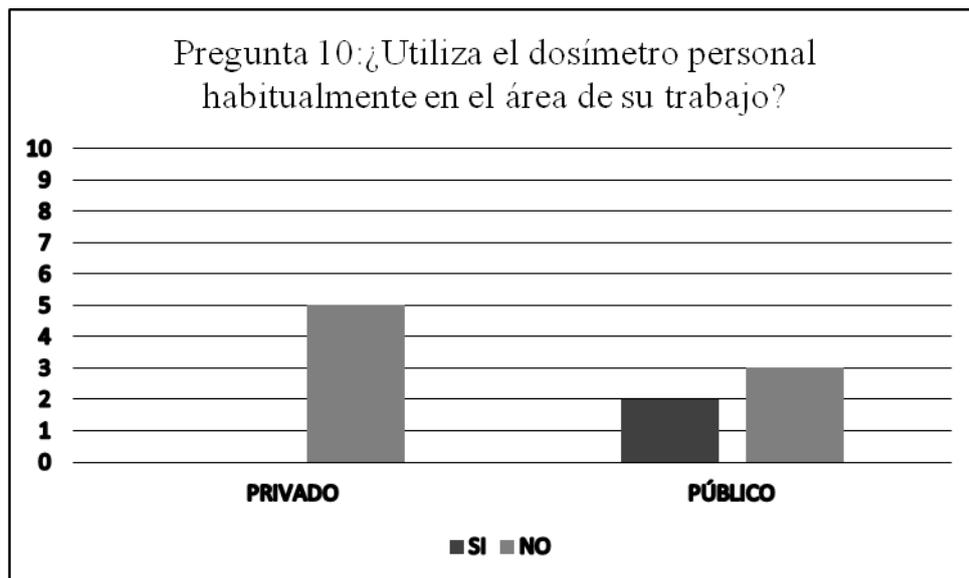
Solo el 90% de los Técnico Radiólogos de ambos servicios conocen los diferentes tipos de dosímetros que existen en radiología.



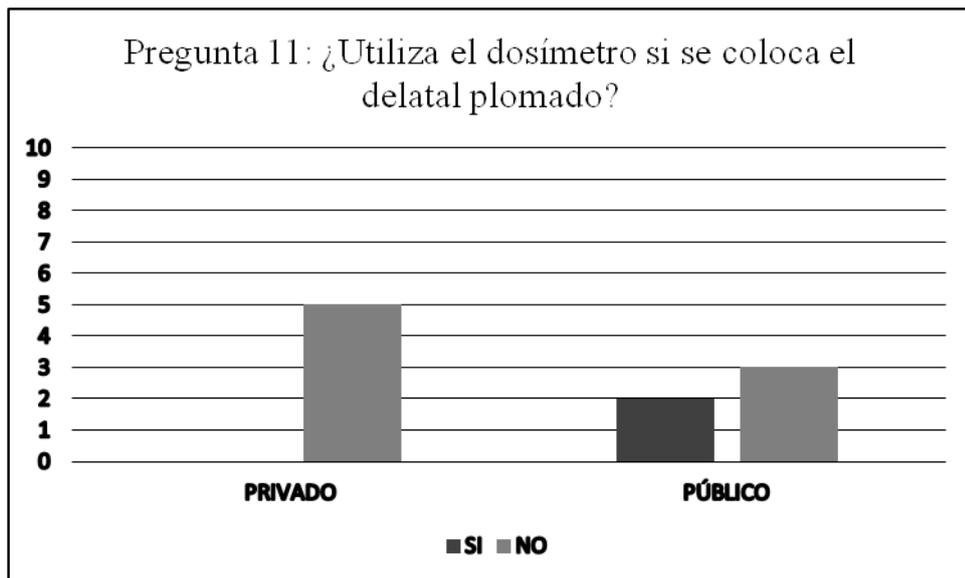
Los resultados demuestran que en el servicio de Diagnóstico por Imágenes Privado 80% de los encuestados confían en la información dosimétrica y el Público 60% de los encuestados no confía en la información dosimétrica.



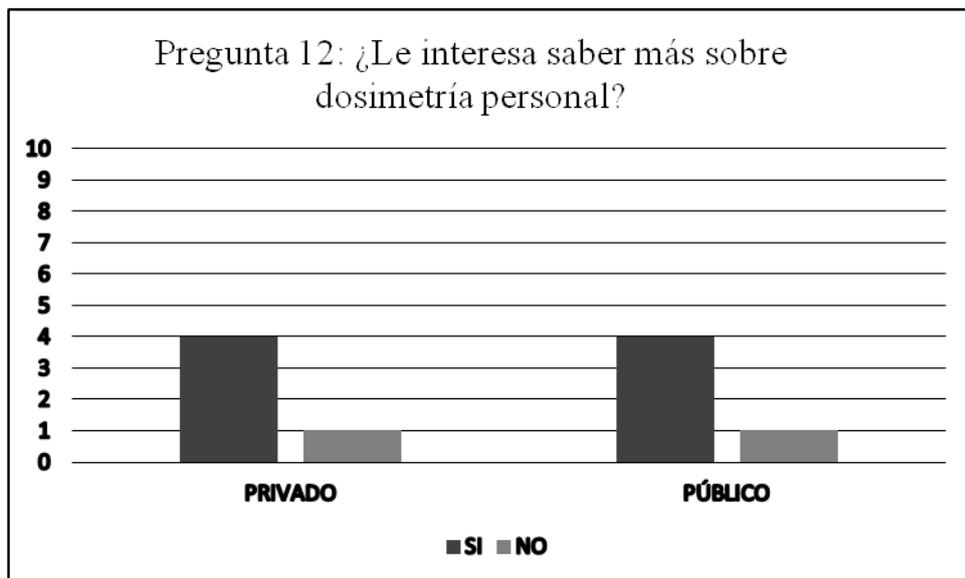
Los resultados obtenidos demuestran que en el servicio de Diagnóstico por Imágenes Privado el 100% de los encuestados no lee los informes de dosimetría, en cambio en el servicio de Diagnóstico por Imágenes Público 60% de los encuestados lee mensualmente sus informes de dosimetría.



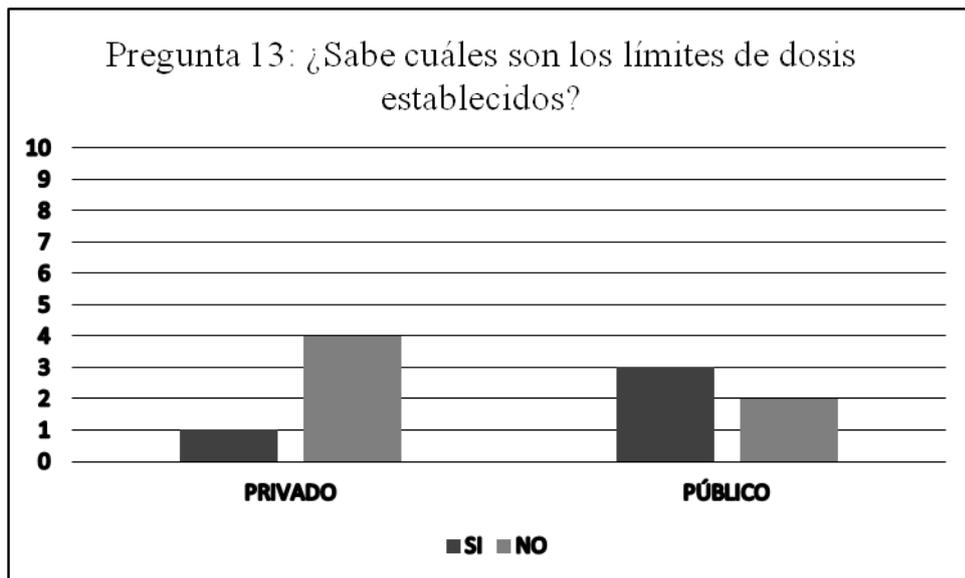
En el servicio de Diagnóstico por Imágenes privado el 100% de los encuestados no utiliza el dosímetro personal, en cambio, en el servicio Público solo el 40 % utiliza el dosímetro personal.



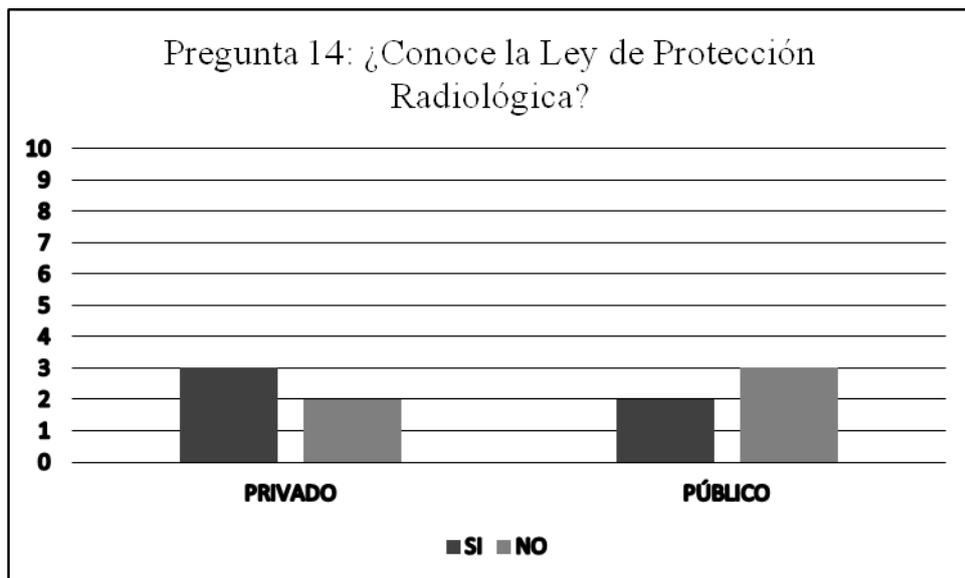
En el servicio de Diagnóstico por Imágenes privado el 100% de los encuestados no utiliza el dosímetro personal si se coloca el chaleco plomado, en cambio, en el servicio Público solo el 40 % utiliza el dosímetro personal cuando se coloca el chaleco plomado.



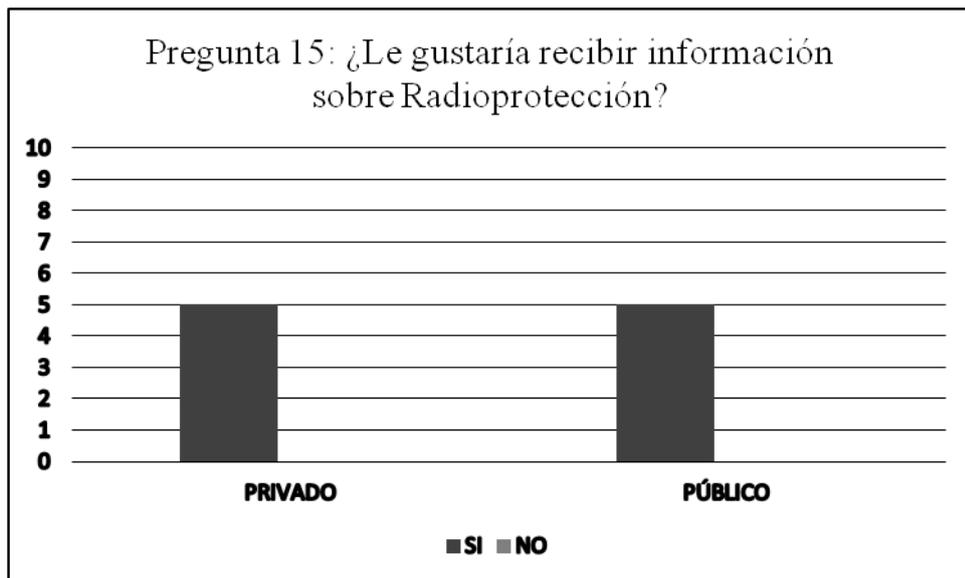
Los resultados reflejan que el 80% de los encuestados de ambos servicios de Diagnóstico por Imágenes le interesa saber más sobre la dosimetría personal.



Los resultados demuestran que en el servicio de Diagnóstico por Imágenes privado el 80% de los encuestados no tiene noción sobre los límites de dosis establecidos, en cambio, el servicio por Imágenes público 60% conoce los límites de dosis establecidos.



Los resultados demuestran que en el servicio de Diagnóstico por Imágenes privado el 60% de los encuestados conoce la ley de Protección Radiológica, en cambio, el servicio por Imágenes público 60% desconoce la ley de Protección Radiológica.



Los resultados demuestran que el 100% de los encuestados de ambos establecimientos le gustaría informarse más sobre la Radioprotección.

**ENCUESTA N° 1** / **SERVICIO PÚBLICO / PRIVADO**

1. **Edad**
  - a. Menos de 30 años
  - b. 31 a 40 años
  - c. 41 a 50 años
  - d. 51 a 60 años
2. **Sexo**
  - a. Masculino
  - b. Femenino
3. **Titulación**
  - a. Técnico Radiólogo
  - b. Licenciado en Producción de Bioimágenes
  - c. Técnico en Diagnóstico por Imágenes
4. **¿Desde hace cuánto tiempo usted se ha desempeñado como Técnico Radiólogo?**
  - a. 0 a 5 años
  - b. 6 a 10 años
  - c. 11 a 15 años
  - d. Más de 16 años
5. **¿Conoce los efectos de las radiaciones en el tejido vivo?**
  - a. Si
  - b. No
6. **¿Conoce los beneficios de la Dosimetría Personal?**
  - a. Si
  - b. No
7. **¿Conoce los distintos tipos de Dosímetros que existen?**
  - a. Si
  - b. No
8. **¿Confía en la información dosimétrica?**
  - a. Si
  - b. No
9. **¿Lee mensualmente los informes dosimétricos?**
  - a. Si
  - b. No
10. **¿Utiliza el dosímetro personal habitualmente en el área de su trabajo?**
  - a. Si
  - b. No
11. **¿Utiliza el dosímetro si se coloca el delantal plomado?**
  - a. Si
  - b. No
12. **¿Le interesa saber más sobre Dosimetría Personal?**
  - a. Si
  - b. No
13. **¿Sabe cuáles son los límites de dosis establecidos?**
  - a. Si
  - b. No
14. **¿Conoce la LEY de Protección Radiológica?**
  - a. Si
  - b. No
15. **¿Le gustaría recibir información sobre Radioprotección?**
  - a. Si
  - b. No

**ENCUESTA N° 2 SERVICIO PÚBLICO / PRIVADO**

**1. Edad**

- a. Menos de 30 años b. 31 a 40 años c. 41 a 50 años  d. 51 a 60 años

**2. Sexo**

- a. Masculino  b. Femenino

**3. Titulación**

- a. Técnico Radiólogo  
 b. Licenciado en Producción de Bioimágenes  
 c. Técnico en Diagnóstico por Imágenes

**4. ¿Desde hace cuánto tiempo usted se ha desempeñado como Técnico Radiólogo?**

- a. 0 a 5 años b. 6 a 10 años c. 11 a 15 años  d. Más de 16 años

**5. ¿Conoce los efectos de las radiaciones en el tejido vivo?**

- a. Si b. No

**6. ¿Conoce los beneficios de la Dosimetría Personal?**

- a. Si b. No

**7. ¿Conoce los distintos tipos de Dosímetros que existen?**

- a. Si b. No

**8. ¿Confía en la información dosimétrica?**

- a. Si  b. No

**9. ¿Lee mensualmente los informes dosimétricos?**

- a. Si  b. No

**10. ¿Utiliza el dosímetro personal habitualmente en el área de su trabajo?**

- a. Si  b. No

**11. ¿Utiliza el dosímetro si se coloca el delantal plomado?**

- a. Si  b. No

**12. ¿Le interesa saber más sobre Dosimetría Personal?**

- a. Si b. No

**13. ¿Sabe cuáles son los límites de dosis establecidos?**

- a. Si  b. No

**14. ¿Conoce la LEY de Protección Radiológica?**

- a. Si  b. No

**15. ¿Le gustaría recibir información sobre Radioprotección?**

- a. Si b. No

**ENCUESTA N° 3 SERVICIO PÚBLICO / PRIVADO**

**1. Edad**

- a. Menos de 30 años  b. 31 a 40 años c. 41 a 50 años d. 51 a 60 años

**2. Sexo**

- a. Masculino  b. Femenino

**3. Titulación**

- a.  Técnico Radiólogo  
b.  Licenciado en Producción de Bioimágenes  
c.  Técnico en Diagnóstico por Imágenes

**4. ¿Desde hace cuánto tiempo usted se ha desempeñado como Técnico Radiólogo?**

- a. 0 a 5 años  b. 6 a 10 años c. 11 a 15 años d. Más de 16 años

**5. ¿Conoce los efectos de las radiaciones en el tejido vivo?**

- a.  Si b.  No

**6. ¿Conoce los beneficios de la Dosimetría Personal?**

- a.  Si b.  No

**7. ¿Conoce los distintos tipos de Dosímetros que existen?**

- a.  Si b.  No

**8. ¿Confía en la información dosimétrica?**

- a.  Si b.  No

**9. ¿Lee mensualmente los informes dosimétricos?**

- a.  Si  b. No

**10. ¿Utiliza el dosímetro personal habitualmente en el área de su trabajo?**

- a.  Si  b. No

**11. ¿Utiliza el dosímetro si se coloca el delantal plomado?**

- a.  Si  b. No

**12. ¿Le interesa saber más sobre Dosimetría Personal?**

- a.  Si b.  No

**13. ¿Sabe cuáles son los límites de dosis establecidos?**

- a.  Si  b. No

**14. ¿Conoce la LEY de Protección Radiológica?**

- a.  Si b.  No

**15. ¿Le gustaría recibir información sobre Radioprotección?**

- a.  Si b.  No

ENCUESTA N° 4 SERVICIO PÚBLICO / PRIVADO

1. Edad
  - a. Menos de 30 años
  - b. 31 a 40 años
  - c. 41 a 50 años
  - d. 51 a 60 años
2. Sexo
  - a. Masculino
  - b. Femenino
3. Titulación
  - a. Técnico Radiólogo
  - b. Licenciado en Producción de Bioimágenes
  - c. Técnico en Diagnóstico por Imágenes
4. ¿Desde hace cuánto tiempo usted se ha desempeñado como Técnico Radiólogo?
  - a. 0 a 5 años
  - b. 6 a 10 años
  - c. 11 a 15 años
  - d. Más de 16 años
5. ¿Conoce los efectos de las radiaciones en el tejido vivo?
  - a. Si
  - b. No
6. ¿Conoce los beneficios de la Dosimetría Personal?
  - a. Si
  - b. No
7. ¿Conoce los distintos tipos de Dosímetros que existen?
  - a. Si
  - b. No
8. ¿Confía en la información dosimétrica?
  - a. Si
  - b. No
9. ¿Lee mensualmente los informes dosimétricos?
  - a. Si
  - b. No
10. ¿Utiliza el dosímetro personal habitualmente en el área de su trabajo?
  - a. Si
  - b. No
11. ¿Utiliza el dosímetro si se coloca el delantal plomado?
  - a. Si
  - b. No
12. ¿Le interesa saber más sobre Dosimetría Personal?
  - a. Si
  - b. No
13. ¿Sabe cuáles son los límites de dosis establecidos?
  - a. Si
  - b. No
14. ¿Conoce la LEY de Protección Radiológica?
  - a. Si
  - b. No
15. ¿Le gustaría recibir información sobre Radioprotección?
  - a. Si
  - b. No

**ENCUESTA N° 5** SERVICIO PÚBLICO **PRIVADO**

**1. Edad**

- a. Menos de 30 años   b. 31 a 40 años   c. 41 a 50 años   d. 51 a 60 años

**2. Sexo**

- a. Masculino    b. Femenino

**3. Titulación**

- a. Técnico Radiólogo  
b. Licenciado en Producción de Bioimágenes  
c. Técnico en Diagnóstico por Imágenes

**4. ¿Desde hace cuánto tiempo usted se ha desempeñado como Técnico Radiólogo?**

- a. 0 a 5 años   b. 6 a 10 años   c. 11 a 15 años   d. Más de 16 años

**5. ¿Conoce los efectos de las radiaciones en el tejido vivo?**

- a. Si   b. No

**6. ¿Conoce los beneficios de la Dosimetría Personal?**

- a. Si   b. No

**7. ¿Conoce los distintos tipos de Dosímetros que existen?**

- a. Si   b. No

**8. ¿Confía en la información dosimétrica?**

- a. Si   b. No

**9. ¿Lee mensualmente los informes dosimétricos?**

- a. Si    b. No

**10. ¿Utiliza el dosímetro personal habitualmente en el área de su trabajo?**

- a. Si    b. No

**11. ¿Utiliza el dosímetro si se coloca el delantal plomado?**

- a. Si    b. No

**12. ¿Le interesa saber más sobre Dosimetría Personal?**

- a. Si   b. No

**13. ¿Sabe cuáles son los límites de dosis establecidos?**

- a. Si    b. No

**14. ¿Conoce la LEY de Protección Radiológica?**

- a. Si   b. No

**15. ¿Le gustaría recibir información sobre Radioprotección?**

- a. Si   b. No

**ENCUESTA N° 6 SERVICIO PÚBLICO / PRIVADO**

1. **Edad**
  - a. Menos de 30 años  b. 31 a 40 años  c. 41 a 50 años  d. 51 a 60 años
2. **Sexo**
  - a. Masculino  b. Femenino
3. **Titulación**
  - a. Técnico Radiólogo
  - b. Licenciado en Producción de Bioimágenes
  - c. Técnico en Diagnóstico por Imágenes
4. **¿Desde hace cuánto tiempo usted se ha desempeñado como Técnico Radiólogo?**
  - a. 0 a 5 años  b. 6 a 10 años  c. 11 a 15 años  d. Más de 16 años
5. **¿Conoce los efectos de las radiaciones en el tejido vivo?**
  - a. Si  b. No
6. **¿Conoce los beneficios de la Dosimetría Personal?**
  - a. Si  b. No
7. **¿Conoce los distintos tipos de Dosímetros que existen?**
  - a. Si  b. No
8. **¿Confía en la información dosimétrica?**
  - a. Si  b. No
9. **¿Lee mensualmente los informes dosimétricos?**
  - a. Si  b. No
10. **¿Utiliza el dosímetro personal habitualmente en el área de su trabajo?**
  - a. Si  b. No
11. **¿Utiliza el dosímetro si se coloca el delantal plomado?**
  - a. Si  b. No
12. **¿Le interesa saber más sobre Dosimetría Personal?**
  - a. Si  b. No
13. **¿Sabe cuáles son los límites de dosis establecidos?**
  - a. Si  b. No
14. **¿Conoce la LEY de Protección Radiológica?**
  - a. Si  b. No
15. **¿Le gustaría recibir información sobre Radioprotección?**
  - a. Si  b. No

**ENCUESTA N° 7 SERVICIO PÚBLICO / PRIVADO**

**1. Edad**

- a. Menos de 30 años  b. 31 a 40 años c. 41 a 50 años d. 51 a 60 años

**2. Sexo**

- a. Masculino  b. Femenino

**3. Titulación**

- a. Técnico Radiólogo  
b. Licenciado en Producción de Bioimágenes  
c. Técnico en Diagnóstico por Imágenes

**4. ¿Desde hace cuánto tiempo usted se ha desempeñado como Técnico Radiólogo?**

- a. 0 a 5 años b. 6 a 10 años c. 11 a 15 años d. Más de 16 años

**5. ¿Conoce los efectos de las radiaciones en el tejido vivo?**

- a. Si b. No

**6. ¿Conoce los beneficios de la Dosimetría Personal?**

- a. Si b. No

**7. ¿Conoce los distintos tipos de Dosímetros que existen?**

- a. Si b. No

**8. ¿Confía en la información dosimétrica?**

- a. Si  b. No

**9. ¿Lee mensualmente los informes dosimétricos?**

- a. Si b. No

**10. ¿Utiliza el dosímetro personal habitualmente en el área de su trabajo?**

- a. Si  b. No

**11. ¿Utiliza el dosímetro si se coloca el delantal plomado?**

- a. Si  b. No

**12. ¿Le interesa saber más sobre Dosimetría Personal?**

- a. Si  b. No

**13. ¿Sabe cuáles son los límites de dosis establecidos?**

- a. Si b. No

**14. ¿Conoce la LEY de Protección Radiológica?**

- a. Si b. No

**15. ¿Le gustaría recibir información sobre Radioprotección?**

- a. Si b. No

**ENCUESTA N° 8 SERVICIO PÚBLICO / PRIVADO**

**1. Edad**

- a. Menos de 30 años b. 31 a 40 años  c. 41 a 50 años d. 51 a 60 años

**2. Sexo**

- a. Masculino b. Femenino

**3. Titulación**

- a. Técnico Radiólogo  
 b. Licenciado en Producción de Bioimágenes  
c. Técnico en Diagnóstico por Imágenes

**4. ¿Desde hace cuánto tiempo usted se ha desempeñado como Técnico Radiólogo?**

- a. 0 a 5 años b. 6 a 10 años c. 11 a 15 años  d. Más de 16 años

**5. ¿Conoce los efectos de las radiaciones en el tejido vivo?**

- a. Si b. No

**6. ¿Conoce los beneficios de la Dosimetría Personal?**

- a. Si b. No

**7. ¿Conoce los distintos tipos de Dosímetros que existen?**

- a. Si b. No

**8. ¿Confía en la información dosimétrica?**

- a. Si b. No

**9. ¿Lee mensualmente los informes dosimétricos?**

- a. Si b. No

**10. ¿Utiliza el dosímetro personal habitualmente en el área de su trabajo?**

- a. Si b. No

**11. ¿Utiliza el dosímetro si se coloca el delantal plomado?**

- a. Si b. No

**12. ¿Le interesa saber más sobre Dosimetría Personal?**

- a. Si b. No

**13. ¿Sabe cuáles son los límites de dosis establecidos?**

- a. Si b. No

**14. ¿Conoce la LEY de Protección Radiológica?**

- a. Si b. No

**15. ¿Le gustaría recibir información sobre Radioprotección?**

- a. Si b. No

**ENCUESTA N° 9 SERVICIO PÚBLICO / PRIVADO**

**1. Edad**

- a. Menos de 30 años   b. 31 a 40 años   c. 41 a 50 años   d. 51 a 60 años

**2. Sexo**

- a. Masculino    b. Femenino

**3. Titulación**

- a. Técnico Radiólogo  
b. Licenciado en Producción de Bioimágenes  
 c. Técnico en Diagnóstico por Imágenes

**4. ¿Desde hace cuánto tiempo usted se ha desempeñado como Técnico Radiólogo?**

- a. 0 a 5 años    b. 6 a 10 años   c. 11 a 15 años   d. Más de 16 años

**5. ¿Conoce los efectos de las radiaciones en el tejido vivo?**

- a. Si   b. No

**6. ¿Conoce los beneficios de la Dosimetría Personal?**

- a. Si   b. No

**7. ¿Conoce los distintos tipos de Dosímetros que existen?**

- a. Si   b. No

**8. ¿Confía en la información dosimétrica?**

- a. Si    b. No

**9. ¿Lee mensualmente los informes dosimétricos?**

- a. Si    b. No

**10. ¿Utiliza el dosímetro personal habitualmente en el área de su trabajo?**

- a. Si    b. No

**11. ¿Utiliza el dosímetro si se coloca el delantal plomado?**

- a. Si    b. No

**12. ¿Le interesa saber más sobre Dosimetría Personal?**

- a. Si   b. No

**13. ¿Sabe cuáles son los límites de dosis establecidos?**

- a. Si    b. No

**14. ¿Conoce la LEY de Protección Radiológica?**

- a. Si    b. No

**15. ¿Le gustaría recibir información sobre Radioprotección?**

- a. Si   b. No

**ENCUESTA N° 10 SERVICIO PÚBLICO / PRIVADO**

**1. Edad**

- a. Menos de 30 años b. 31 a 40 años c. 41 a 50 años d. 51 a 60 años

**2. Sexo**

- a. Masculino b. Femenino

**3. Titulación**

- a. Técnico Radiólogo  
b. Licenciado en Producción de Bioimágenes  
c. Técnico en Diagnóstico por Imágenes

**4. ¿Desde hace cuánto tiempo usted se ha desempeñado como Técnico Radiólogo?**

- a. 0 a 5 años b. 6 a 10 años c. 11 a 15 años d. Más de 16 años

**5. ¿Conoce los efectos de las radiaciones en el tejido vivo?**

- a. Si b. No

**6. ¿Conoce los beneficios de la Dosimetría Personal?**

- a. Si b. No

**7. ¿Conoce los distintos tipos de Dosímetros que existen?**

- a. Si b. No

**8. ¿Confía en la información dosimétrica?**

- a. Si b. No

**9. ¿Lee mensualmente los informes dosimétricos?**

- a. Si b. No

**10. ¿Utiliza el dosímetro personal habitualmente en el área de su trabajo?**

- a. Si b. No

**11. ¿Utiliza el dosímetro si se coloca el delantal plomado?**

- a. Si b. No

**12. ¿Le interesa saber más sobre Dosimetría Personal?**

- a. Si b. No

**13. ¿Sabe cuáles son los límites de dosis establecidos?**

- a. Si b. No

**14. ¿Conoce la LEY de Protección Radiológica?**

- a. Si b. No

**15. ¿Le gustaría recibir información sobre Radioprotección?**

- a. Si b. No

## **LEY N° 17.557**

La Ley N° 17.557 es la legislación básica y fundamental para la regulación radiosanitaria del diagnóstico radiológico. La misma es de alcance nacional y ha sido adoptada en casi todas las provincias.

Esta ley determina que los equipos específicamente destinados a la generación de rayos x, cualquiera sea su campo de aplicación y objeto a que se los destine, deben ser habilitados y controlados según el lugar en que se encuentren, por autoridades de Salud Pública de la Nación, de las provincias o de la ciudad de Buenos Aires. Sin embargo, la autoridad nacional en Salud Pública podrá concurrir por sí para verificar el cumplimiento de la ley en cualquier parte del territorio nacional.

La Ley establece también los aspectos conceptuales para su reglamentación, que fue realizada a través del Decreto N° 6320/68, en base a las siguientes previsiones de la Ley:

- Registro nacional de equipos generadores de rayos x existentes en el país.
- Servicio de dosimetría individual para el personal afectado al manejo y utilización de los equipos.
- Determinación de los responsables por la tenencia y utilización de equipos.
- Dictado de normas de seguridad para los equipos, instalaciones y locales de funcionamiento.
- Requisitos para la autorización del personal encargado del manejo y uso de los equipos, incluyendo el dictado de cursos de capacitación al efecto.
- Fijación de aranceles y tasas.

También se prevé que las infracciones a las disposiciones de la ley, así como a las de su reglamentación, sean sancionadas según la gravedad y circunstancia del caso, con multa, la suspensión o cancelación de la habilitación de equipos o de las autorizaciones al personal, el decomiso de los equipos y finalmente, la clausura del establecimiento. La ley prevé el derecho de interponer recursos de apelación en caso de sanción. En las secciones siguientes se detallan las normas que deben cumplir los servicios de radiodiagnóstico, específicamente relacionadas con la utilización de rayos x.

### *Requisitos para instalación y utilización de equipos generadores de rayos X*

Decreto N° 6320/68 - Reglamentario de la Ley N° 17.557, y Decreto N° 1648/70  
El Decreto N° 6320/68 es el cuerpo instrumental y reglamento de la Ley N° 17.557, ya que fija pautas exigibles para dar cumplimiento a los principios enunciados en dicha ley.

Este Decreto reglamenta las previsiones de la ley en los siguientes puntos principales:

1. Define cuales equipos se consideran generadores de radiación x.
2. Establece las bases para la organización del Registro Catastral de equipos.
- 3 y 4. Especifican los requisitos para la habilitación de los equipos e instalaciones.
5. Detalla los requisitos que deben cumplir los responsables del uso de los equipos para obtener autorización de la correspondiente autoridad de Salud Pública. Este punto presenta los requisitos para obtener Autorizaciones Individuales en los siguientes casos:
  - a. Para radioterapia: debe ser médico especialista con experiencia no menor a tres años en el tema y además, aprobar un curso completo de radiofísica sanitaria y radiodosimetría.
  - b. Para radiodiagnóstico (exclusivamente): debe ser médico especialista con experiencia no menor a un año en el tema y además, aprobar un curso básico de radiofísica sanitaria.
  - c. Para radiodiagnóstico (complemento de otra especialidad): debe ser médico con experiencia no menor a un año en el tema y además, aprobar un curso elemental de seguridad radiológica.
  - d. Para radiología dental: debe ser médico u odontólogo y además, aprobar un curso elemental de seguridad radiológica.
  - e. Para otros casos: debe aprobar un curso elemental de seguridad radiológica.

Los cursos de capacitación antes mencionados son dictados y/o autorizados por las autoridades de Salud, y se realiza en instituciones de salud tanto pública como privada en todo el país.

6 y 7. Establecen la necesidad de asegurar condiciones de seguridad adecuadas en las instalaciones y para las personas, las que se precisan en las Normas Básicas de Seguridad Radiológica, requiriéndose lo siguiente:

- La dosimetría individual es obligatoria para toda persona afectada al manejo y utilización de equipos de rayos x.
- El sistema de dosimetría utilizado debe estar aprobado y autorizado por el Ministerio de Salud.
- El responsable de la instalación tiene obligación de informar a la autoridad de Salud, el listado de las personas que van a usar dosímetro, así como en forma inmediata las altas y bajas en dicha lista.
- La autoridad de Salud informa las dosis acumuladas de cada usuario.
- El responsable de la instalación debe llevar un registro de las dosis individuales y conservarlo durante 30 años. Si la instalación cesara en su funcionamiento, el registro

deberá ser remitido a la autoridad de Salud para su archivo hasta que se cumpla dicho lapso.

- El no uso del dosímetro o hacer un uso indebido del mismo, podrá dar lugar a la aplicación de sanciones.

8. Precisa quienes son los responsables de las instalaciones y del uso de equipos generadores de rayos x:

De las instalaciones:

- El Director.
- El Gerente Técnico.
- Un funcionario de jerarquía / función equivalente.
- El propietario de la instalación.

Del uso de los equipos generadores de rayos x:

- Los Jefes de Servicio.
- Persona designada por la entidad.
- Única persona prestadora de servicios.

El responsable de las instalaciones o del uso de los equipos de rayos x, conservará este carácter en todo lo relativo al Decreto N° 6320/68, mientras la autoridad de Salud Pública no tome conocimiento de su relevo.

Es importante destacar la responsabilidad que asume un profesional especialista al hacerse cargo ante terceros de una instalación o equipo generador de radiaciones ionizantes; tanto por las sanciones previstas en casos de incumplimientos, como por las implicancias médico- legales de posibles instancias jurídicas.

#### *Normas básicas de seguridad radiosanitaria (resolución n° 2680/68 y modificatorias)*

Estas normas que deben ser observadas en la instalación y uso de todo generador de rayos x existente en el país, tienen por objeto asegurar la protección radiosanitaria del personal afectado a la utilización de equipos generadores de rayos x y de los miembros de la población que incidentalmente pudieren resultar irradiados.

Las Disposiciones Generales de estas normas están detalladas en su punto 3, y son las siguientes:

3.1. No se afectará a tareas que impliquen exposición a rayos x a menores de dieciocho (18) años.

3.2. No se afectará a tareas que impliquen exposición a rayos x a personas que no hayan sido debidamente prevenidas por sus superiores respecto de los posibles riesgos inherentes a dichas tareas e instruidas sobre los medios de protección a emplear.

3.3. No se admitirá la permanencia ni circulación de personas no imprescindibles a los fines de los estudios o tratamientos radiológicos, durante los períodos de irradiación con equipos generadores de rayos x, en los recintos en que se encuentran instalados, o dentro de los límites que al efecto determina la autoridad de Salud Pública en cada instalación.

3.4. El dueño de la instalación debe contemplar la utilización de los medios de protección más adecuados, a fin de impedir que tanto el personal como el público puedan recibir dosis superiores a los límites anuales para trabajadores y para los miembros de la población que incidentalmente pudieren resultar irradiados.

3.5. En los estudios o tratamientos que se realicen en seres humanos debe colimarse el haz de rayos x en la máxima medida compatible con el fin perseguido. Asimismo, deberán emplearse elementos de protección para aquellas regiones del cuerpo cuya exposición no contribuya en nada a los fines del diagnóstico o terapia, en particular gónadas y órganos hematopoyéticos.

3.6. Todo responsable del uso de una instalación debe hacer llevar, para cada tubo de rayos x, un registro de todas las placas radiográficas con él obtenidas o estudios radioscópicos o tratamientos realizados.

En el registro se consignará para cada placa, estudio o tratamiento:

- a. Fecha
- b. Denominación u objeto del estudio o tratamiento.
- c. Tensión con que ha operado el tubo (en kilovolt).
- d. Corriente que se ha establecido (en miliamperes) o la carga que ha circulado (en miliamperes-segundo).
- e. Tiempo durante el que se ha irradiado (en segundos o minutos).

Los Límites de Dosis establecidos por estas normas en su punto 4, fueron actualizados en los años 1986 y 1991 mediante la Resolución N° 273/86 y la Disposición N° 30/91.

En efecto, el establecimiento de límites dosis constituye un proceso en permanente evolución, estrechamente vinculado con el avance del conocimiento de los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes, lo que motivó la actualización de los límites de dosis siguiendo recomendaciones internacionales. Por otra parte, cabe aclarar que tanto las normas básicas como las modificaciones de los años 1986 y 1991 emplean

el término “Dosis máxima permisible”, pero dado que los conceptos actuales de seguridad radiológica requieren que toda dosis -aún aquellas por debajo de los límites- deben estar justificadas y optimizadas además de cumplir los límites establecidos, es conveniente referirse a tales dosis como límites de dosis anuales.

A continuación se detallan los límites de dosis actualmente vigentes, que están establecidos en la Disposición N° 30/91.

En primer lugar se excluye de estas normas a las personas cuando, como paciente, deban ser objeto de estudios o tratamientos radiológicos, debiendo aplicarse en dichos casos un balance entre el riesgo y el beneficio que justifique la práctica. También a los efectos de la evaluación de las dosis acumuladas individualmente, no se tomarán en consideración las dosis originadas por el fondo natural de radiación.

#### 4.1. Límites para la Exposición Ocupacional

4.1.1. Los límites de dosis para aquellas personas que, en razón de sus tareas habituales, resultaran expuestas a rayos x:

- a. Para irradiación uniforme en todo el cuerpo o en particular gónadas y órganos hematopoyéticos: 20 miliSievert/año o bien, 100 miliSievert/5 años (lo que da un promedio de 20 miliSievert/año) y no mayor de 50 miliSievert en un año.
- b. Para irradiación de cristalino: 150 miliSievert/año.
- c. Para irradiación de cualquier otro sector del organismo, en especial piel, manos y pies: 500 miliSievert/año.

4.1.2. Toda mujer en estado de gravidez deberá notificarlo, mediante certificación médica, al responsable de la instalación donde realice sus tareas. A partir de ese momento y hasta el parto, la dosis total en la superficie del abdomen no deberá ser superior a 2 miliSievert, recomendándose especialmente evitar toda exposición entre la octava y décimoquinta semana del embarazo.

#### 4.2. Límites para Exposición Incidental

4.2.1. El límite de dosis anual para los miembros de la población que incidentalmente pudieren resultar irradiados, es decir aquellas personas no directamente vinculadas a tareas que impliquen exposición ocupacional y que, por razones de proximidad pudieran resultar irradiados, es de 1 miliSievert/año.

4.2.2. Cuando se ha irradiado a mujeres que desconocían su estado de gravidez, la autoridad de Salud podrá requerir al responsable del uso de la instalación la presentación del registro indicado en 3.6. Y al profesional que efectuó la práctica un informe que detalle las condiciones técnicas bajo las cuales se efectuó la irradiación. En

base a los datos aportados estimará la dosis de radiación recibida por la paciente, la cual será comunicada al profesional especializado.

4.2.3. En caso de no presentarse el registro indicado en 3.6, la autoridad de Salud puede cancelar la Autorización Individual del responsable de la instalación.

4.2.4. A fin de evitar la posibilidad de irradiar a una mujer embarazada en la ignorancia de su estado, es prudente considerar como embarazada a cualquier mujer que acuda para someterse a un examen radiográfico si el período menstrual se ha retrasado o le ha faltado por completo, a menos que exista información que indique la ausencia de embarazo. Cuando el ciclo es tan irregular que resulta difícil conocer si ha faltado un período, es razonable averiguar si la paciente está o no embarazada mediante una prueba de embarazo.

4.2.5. Para reducir la frecuencia de exposiciones involuntarias al feto es obligatorio colocar carteles en lugares visibles de la instalación, donde se aconseje a las pacientes informar al personal antes del examen cuando crean en la posibilidad de estar embarazadas.

#### *5. Caso de exposición superior al límite de dosis establecido*

5.1. Toda vez que se comprobare que un miembro del personal ha recibido dosis superiores a las establecidas en 4.1, el responsable del uso de la instalación debe presentar a la autoridad de Salud Pública un informe que aclare, hasta donde sea posible, las circunstancias determinantes de tal hecho, de conformidad con el artículo 20 de la reglamentación de la Ley 17.557.

5.2. Si la dosis debida a un accidente fuere superior a 5 veces los límites anuales establecidos en 4.1.1, la autoridad de Salud Pública habrá de decidir si la persona que ha recibido dicha dosis podrá continuar afectada a tareas que impliquen exposición a radiaciones ionizantes.

#### *6. Supervisión de la seguridad radiosanitaria*

6.1. La autoridad de Salud Pública inspeccionará periódicamente las instalaciones de rayos x, previamente habilitadas, a fin de verificar:

a. Las condiciones de seguridad de las instalaciones por medio de la evaluación de los niveles de exposición en los lugares que puedan ser ocupados por el personal o el público; estos niveles deberán ser tales que aseguren el cumplimiento de los límites de dosis establecidos.

b. La seguridad de los métodos de trabajo.

c. El empleo de los medios de protección adecuados.

6.2. La autoridad de Salud Pública exigirá, cuando corresponda, las modificaciones en las instalaciones o la adición de materiales blindados que la seguridad del personal o del público requiera. Asimismo podrá exigir la utilización de los medios de protección técnicamente más adecuados.

### *7. Dosimetría*

7.1. Toda persona directamente afectada a tareas que impliquen exposición a rayos x, debe solicitar a la autoridad nacional de Salud Pública una cartilla individual en la que se asentarán periódicamente las dosis de radiación medidas. Dicha cartilla constituye un documento personal e intransferible que será exigido por el responsable del uso de cada instalación al personal bajo su dependencia, según lo establecido en el artículo 30 de la reglamentación de la Ley N° 17.557.

7.2. El responsable del uso de cada instalación, debe solicitar a la autoridad nacional de Salud Pública la prestación del servicio de dosimetría para todo el personal del servicio que posea cartilla.

7.3. En cada establecimiento y a cada una de las personas para las que se hubiere solicitado el servicio de dosimetría, la autoridad nacional de Salud Pública asigna un dosímetro. El mismo deberá ser utilizado permanentemente por el usuario, durante el desempeño de sus tareas en el correspondiente establecimiento, sin poder retirarlo del mismo.

7.4. Cuando el tipo de tareas así lo justifique, la autoridad nacional de Salud Pública podrá asignar a una persona más de un dosímetro para su uso simultáneo en una instalación.

7.5. Cuando una persona con dosímetro asignado cesare en sus tareas, el responsable del uso de la instalación deberá comunicarlo de inmediato a la autoridad nacional de Salud Pública y proceder a la devolución del respectivo dosímetro.

7.6. El responsable del uso de la instalación procederá a cambiar, en las fechas que se le indiquen, el material sensible de los dosímetros asignados al personal por los que, al efecto, le envíe la autoridad nacional de Salud Pública, reintegrando inmediatamente a dicho organismo el material sensible ya expuesto.

7.7. Evaluadas las dosis acumuladas por los dosímetros, la autoridad de Salud Pública comunicará los resultados de tales evaluaciones al responsable del uso de cada instalación.

7.8. El responsable del uso de la instalación asentará el valor de las dosis en las cartillas del personal y en registros que al efecto deberá llevar para cada integrante del personal del servicio; en el mismo ha de constar:

- Apellido y nombre.
- Número de cartilla.
- Período en los que se han evaluado las dosis y los correspondientes valores de las mismas. El registro deberá ser conservado por el lapso indicado en el artículo 21 de la reglamentación de la Ley N° 17.557.

7.9. Las evaluaciones a que se hace referencia en 7.7, se efectuarán con la frecuencia necesaria para garantizar el cumplimiento de lo establecido en 4.1.

7.10. La autoridad nacional de Salud Pública fijará las tasas que correspondan por la prestación del servicio de dosimetría.

#### *Norma para prestadores del servicio de dosimetría personal (resolución n° 631/90)*

Esta Resolución permite a prestatarios privados de Servicios de Dosimetría personal, el desarrollo de esta tarea pero sujeta a supervisión oficial.

En resumen, sus puntos más importantes determinan lo siguiente:

- El Servicio de Dosimetría puede ser prestado tanto por la autoridad de Salud, como por personas públicas o privadas que cumplan las normas.
- Debe estar inscripto.
- Debe informar las dosis de cada usuario al responsable de uso de la instalación o a la autoridad de Salud.
- Si algún dosímetro supera los límites de dosis establecidos debe informar al responsable del uso de la instalación, a la Autoridad Nacional de Salud y a la Autoridad Provincial de Salud si así correspondiera.
- Cada usuario debe poseer una cartilla individual otorgada por la autoridad de Salud.
- El responsable debe mantener los registros de dosis al día.
- Los prestadores de servicios de dosimetría deben conservar los registros y las placas por 30 años.

#### *Reglamentación para estudios mamográficos (disposición n° 560/91)*

Esta Disposición reglamenta la realización de estudios mamográficos y establece una serie de especificaciones técnicas (detalladas en dos anexos a la Disposición), que deben cumplirse al llevar a cabo estos estudios.

La Disposición N° 560/91 establece los siguientes criterios normativos:

- Las instalaciones deben estar habilitadas para realizar estudios mamográficos.
- Los profesionales actuantes deben poseer la debida Autorización Individual.
- Los equipos radiológicos deben poseer determinadas características.
- Las películas radiográficas deben tener pantallas reforzadoras diseñadas especialmente para mamografía.
- El proceso de control de calidad debe verificarse periódicamente, estableciendo programas de garantía de calidad.
- Las dosis correspondientes a las técnicas utilizadas en la mamografía deben medirse.
- La creación de una Comisión Asesora en Mamografía para asesorar en aspectos vinculados al tema.

*Reglamentación para equipos de control de equipajes (resolución n° 61/92)*

Esta Resolución reglamenta las instalaciones y equipos de rayos x destinados al control de equipajes. Si bien los equipos destinados al control de equipajes no tienen relación con el sector salud, se hace hincapié en la creciente utilización de los mismos y a los riesgos concretos sobre la salud de la población que pudiera resultar irradiada.

La Resolución N° 61/92 establece criterios normativos relacionados con los equipos e instalaciones, la responsabilidad por la instalación y por el uso del equipo, aspectos del diseño de los equipos y de su operación, la habilitación de los mismos, requisitos de protección radiológica y señalización de los equipos.