

**CARTILLA INFORMATIVA SOBRE EL INADECUADO USO DE  
RADIOPROTECCIÓN Y DOSIMETRÍA RADIOLÓGICA**

**LAURA ALEJANDRA ALVAREZ BUITRAGO**

**UNIVERSIDAD ECCI  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIRECCIÓN DE INGENIERÍA BIOMÉDICA  
PROGRAMA DE TECNOLOGÍA EN ELECTROMEDICINA / INGENIERÍA  
BIOMÉDICA  
BOGOTÁ, D.C.  
2020**

**CARTILLA INFORMATIVA SOBRE EL INADECUADO USO DE  
RADIOPROTECCIÓN Y DOSIMETRÍA RADIOLÓGICA**

**LAURA ALEJANDRA ALVAREZ BUITRAGO**

**ID 45457**

**Trabajo de grado para optar por el título de Tecnóloga en  
Electromedicina**

**Asesor**

**JORGE HUMBERTO TORRES MEDINA  
INGENIERO ELECTRONICO**

**UNIVERSIDAD ECCI  
FACULTAD DE **INGENIERÍAS**  
DIRECCIÓN DE INGENIERÍA BIOMÉDICA  
PROGRAMA DE TECNOLOGÍA EN ELECTROMEDICINA  
BOGOTÁ, D.C.  
2020**

## Tabla de Contenido

	Pág.
<b><u>Glosario</u></b> .....	7
<b><u>1. Introducción</u></b> .....	10
<b><u>2. Planteamiento del problema</u></b> .....	11
<u>2.2 Formulación del Problema</u> .....	12
<b><u>3. Justificación</u></b> .....	12
<u>3.1 Viabilidad</u> .....	12
<b><u>4. Objetivos</u></b> .....	13
<u>4.1 Objetivo General</u> .....	13
<u>4.2 Objetivos Específicos</u> .....	13
<b><u>5. Antecedentes</u></b> .....	14
<b><u>6. Marco de Referencia</u></b> .....	15
<u>6.1 Marco Teórico</u> .....	15
<u>6.1.1 Historia</u> .....	15
<u>6.1.3 Principio de Funcionamiento</u> .....	16
<u>6.1.5 Radiaciones Ionizantes</u> .....	17
<u>6.1.6 Producción de Rayos X</u> .....	19
<u>6.2 Protección Radiológica</u> .....	20
<u>6.3 Dosimetría</u> .....	24
<u>6.3.1 La Dosimetría Personal</u> .....	24
<u>6.3.2 La Dosimetría No Personal</u> .....	24

	52
<u>6.4 Clasificación de la Dosis Absorbida por Tejidos</u> .....	24
<u>6.4.1 Dosis absorbida (D)</u> .....	24
<u>6.4.2 Dosis Equivalente (H)</u> .....	25
<u>6.4.3 Dosis Efectiva (E)</u> .....	25
<u>6.5. Efectos Deterministas a Nivel Celular</u> .....	27
<u>6.5.1 Efectos Deterministas Piel y Ojos</u> .....	29
<u>6.5.2 Efectos Determinísticos Órganos Reproductores</u> .....	30
<u>6.5.3 Efectos deterministas sistema nervioso central</u> .....	30
<u>6.5.4 Efectos deterministas en pulmón y riñón</u> .....	31
<u>6.5.5 Efectos deterministas nivel adulto</u> .....	31
<u>6.5.6 Efectos Deterministas Individuo En Desarrollo</u> .....	32
<u>6.6 Efectos Estocásticos</u> .....	33
<u>6.6.1 Efectos Estocásticos: Desarrollo del Cáncer</u> .....	34
<u>6.6.2 Modelo Multietapa</u> .....	34
<u>6.6.3 Efectos Estocásticos Hereditarios</u> .....	37
<u>6.6.4 Magnitudes para cuantificar los efectos estocásticos</u> .....	39
<b><u>7. Metodología</u></b> .....	40
<b><u>8. Resultados</u></b> .....	43
<b><u>9. Conclusiones</u></b> .....	44

## Tabla de Figuras

	Pág.
<a href="https://www.elsevier.es/es-revista-revista-colombiana-cardiologia-203-articulo-radiacion-ionizante-revision-tema-recomendaciones-">Figura 1 Representación porcentual de la radiación ionizante natural y artificial. Fuente: https://www.elsevier.es/es-revista-revista-colombiana-cardiologia-203-articulo-radiacion-ionizante-revision-tema-recomendaciones-</a> .....	13
<a href="http://blog.hypatiaformacion.es/pasado-presente-futuro-los-rayos-x/">Figura 2 primera radiografía, Wilhelm Conrad Röntgen. Fuente: 2016 http://blog.hypatiaformacion.es/pasado-presente-futuro-los-rayos-x/ [Nov. 2019]</a> .....	15
<a href="http://www.esanitas.edu.co/Cursos/radiologia_tecnologos/Modulo%203/principios.html">Figura 3 funcionamiento Tubo Rx, Fuente: 2013,http://www.esanitas.edu.co/Cursos/radiologia_tecnologos/Modulo%203/principios.html</a> .....	15
<a href="https://es.slideshare.net/JuanManuelChinoMendoza/1-rayos-x-naturaleza-produccion">Figura 4 producción RX por frenado. Fuente: https://es.slideshare.net/JuanManuelChinoMendoza/1-rayos-x-naturaleza-produccion</a> .....	18
<a href="https://es.slideshare.net/JuanManuelChinoMendoza/1-rayos-x-naturaleza-produccion">Figura 5 producción RX característicos. fuente https://es.slideshare.net/JuanManuelChinoMendoza/1-rayos-x-naturaleza-produccion</a> .....	19
<a href="http://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-19202/Efectos%20de%20las%20RI_UCM_27%20nov%202014_A%20Real_pdf.pdf">Figura 6 Efectos de la radiación en las células. Fuente::http://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-19202/Efectos%20de%20las%20RI_UCM_27%20nov%202014_A%20Real_pdf.pdf</a> .....	25
<a href="http://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-19202/Efectos%20de%20las%20RI_UCM_27%20nov%202014_A%20Real_pdf.pdf">Figura 7 Dosis umbral para el lente ocular. Fuente:http://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-19202/Efectos%20de%20las%20RI_UCM_27%20nov%202014_A%20Real_pdf.pdf</a> .....	28
<a href="http://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-19202/Efectos%20de%20las%20RI_UCM_27%20nov%202014_A%20Real_pdf.pdf">Figura 8 Efectos Determinísticos Tracto Gastrointestinal. Fuente:http://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-19202/Efectos%20de%20las%20RI_UCM_27%20nov%202014_A%20Real_pdf.pdf</a> .....	29
<a href="#">Figura 9 Etapas de la célula al modificar su ADN al recibir radiación</a> .....	33
<a href="#">Figura 10 . Etapas del proceso de desarrollo del diseño de la cartilla informativa.Fuente autora</a> .....	40

<u>Figura 11 Fuente: Segura W, T. D. (2009). RIESGO DE DESARROLLAR CÁNCER DE TIROIDES EN RADIÓLOGOS Y TECNÓLOGOS DE RADIOLOGÍA CON EXPOSICIÓN OCUPACIONAL A RADIACIÓN IONIZANTE. Revista Medica Sanitas, 12, 42-48. Obtenido de <a href="http://www.unisanitas.edu.co/Revista/1/orlando%20seg">http://www.unisanitas.edu.co/Revista/1/orlando%20seg</a> .....</u>	41
<u>Figura 12 diseño de las ilustraciones mostradas en la castilla. Fuente: autora.....</u>	42
<u>Figura 13 Cronograma de actividades propuestos para el desarrollo de la cartilla. Fuente: Autora.....</u>	43
<u>Figura 14 Diseño de la cartilla informativa Fuente: autora .....</u>	43
<u>Figura 15 Forma correcta de utilizar el chaleco plomado. Fuente: autora .....</u>	48
<u>Figura 16 Forma incorrecta de utilizar el chaleco plomado. Fuente: autora .....</u>	48
<u>Figura 17 Forma correcta de utilizar los guantes plomados. Fuente: autora.....</u>	49
<u>Figura 18 No utilizar guantes plomado. Fuente: autora .....</u>	49
<u>Figura 19 Forma correcta de utilizar las gafas plomadas. Fuente: autora .....</u>	50
<u>Figura 20 Forma incorrecta de utilizar las gafas plomadas. Fuente: autora.....</u>	50
<u>Figura 21 Forma correcta de utilizar el cuello plomado. Fuente: autora.....</u>	51
<u>Figura 22 No utilizar el cuello plomado. Fuente: autora.....</u>	52

## Glosario

•**Dosímetro:** es un detector de radiaciones de tipo ionizante, tales que son emitidas de equipos de radio diagnóstico o fuentes radioactivas.

•**Radiación ionizante:** es un tipo de energía liberada por los átomos en forma de ondas electromagnéticas o partículas. La desintegración espontánea de los átomos se denomina radioactividad y la energía excedente es una forma de radiación ionizante.

•**Miliamperio:** medida de intensidad que es igual a la milésima parte de un amperio.

•**Kilovoltio:** medida de potencial eléctrico de símbolo kv, que es igual a 1000 voltios.

•**Ánodo:** es un electrodo en el que se produce una reacción de oxidación, mediante la cual un material, al perder electrones se incrementa su estado de oxidación.

•**Cátodo:** es un electrodo que sufre una reacción de reducción, mediante la cual el material reduce su estado de oxidación.

•**Célula germinal:** es aquella que se especializa en la producción de gametos o células sexuales que permiten la formación de un nuevo individuo, estas células están ubicadas en las gónadas de los aparatos reproductores femenino y masculino.

•**Dosis:** cantidad de una sustancia a la que se expone una persona por cierto periodo de tiempo.

•**Irradiación:** es el conjunto de rayos radiactivos emitidos por una fuente, estos rayos pueden perturbar el funcionamiento normal de las células del organismo.

•**Excitación atómica:** es cualquier estado cuántico meta estable que gozando de una mayor energía evoluciona hacia el estado fundamental.

•**Gray:** unidad del sistema internacional de símbolo Gy, que se utiliza para medir la dosis de radiación ionizante absorbida por la materia.

•**Electrón:** partícula que se encuentra alrededor del núcleo de un átomo y que tiene carga eléctrica negativa.

•**Células espermatogonias:** son células madre especializadas en diferenciarse para dar lugar a los espermatozoides, a través del proceso de espermatogénesis.

•**Efecto adverso:** respuesta negativa a un fármaco o tratamiento.

•**Dosis umbral:** es aquella que marca el límite arriba del cual se presenta un efecto y debajo del cual no hay efecto.

## 1. Introducción

El principal objetivo de realizar una cartilla informativa sobre las consecuencias del mal uso de la radioprotección y dosimetría radiológica es proporcionar información sobre este tema a todas aquellas personas que de cierta manera trabajen o tengan algún tipo de contacto ya sea directo o indirecto con algún tipo de radiación iónica, ya que sobre este tema la información existente es muy poca en nuestro país. Debido a que cada día en el campo de la salud, el área de radiología e imágenes diagnósticas es una de las especialidades donde avanza rápidamente la tecnología pero el principio de funcionamiento es el mismo la radiación ionizante, esta área sin duda alguna ocupa un lugar importante ya que por medio de esta los médicos realizan diagnósticos y procedimientos guiados por estos equipos. Sin duda alguna esta herramienta de trabajo para la salud es indispensable y debido a que su funcionamiento es con radiación, algo muy peligroso para la salud humana en altas dosis, esto hace pensar que las medidas de protección para el personal que lo usa deben ser diseñadas y utilizadas con un estricto control con el fin de mitigar de una manera muy significativa aquellos efectos nocivos para la salud del personal.

Toda la información recopilada durante la investigación es verídica y confiable, en la cartilla Informativa de que las personas que laboran en el campo de salud u otro campo que devengue la utilización de radiación, encuentre de manera fácil de entender los protocolos básicos de protección, ingeniería hospitalaria requerida para esta área, dosimetría y la legislación para ambos casos con sus respectivas imágenes para discernir las ideas de una mejor manera. Por otra parte se muestra las dosis de radiación límite para personal expuesto directa e indirectamente y los diferentes efectos que esta puede llegar a causar en el organismo.

## **2. Planteamiento del problema**

### **2.1 Identificación del Problema**

En las instituciones prestadoras de salud que cuentan con un servicio de imágenes diagnósticas es de vital importancia tener claro las normas de radioprotección las cuales abarcan infraestructura, elementos y protocolos, además de la dosimetría para evitar al máximo la exposición a la radiación tanto del personal que maneja dichos equipos como del personal indirectamente expuesto a la radiación dispersa generada por esta actividad y de esta manera evitar efectos provocados por este trabajo.

El desconocimiento y la falta de información sobre las consecuencias que la radiación puede provocar en el personal expuesto a ella es notable, el resultado de esta mala práctica se evidencia en los cambios morfo-fisiológicos de las células, órganos, sistemas y generaciones venideras del personal; el inadecuado uso de la radioprotección y dosimetría no solo por parte del personal que maneja las fuentes de radiación ionizante, sino además las empresas prestadoras de salud que cuentan con el servicio de imágenes diagnósticas.

Es importante tener un conocimiento claro sobre los valores de referencia en el campo de la dosimetría, por otra parte es importante tener una buena base en el conocimiento de las de radioprotección, ya que de esta manera se ejerce un control riguroso, evitando problemas posteriores y cuidando de esta forma el bienestar del personal expuesto.

Por otro lado es de vital importancia tener claro los conceptos relacionados a la dosimetría y radioprotección siendo esta primera por definición el cálculo de la dosis absorbida por los tejidos y la materia como consecuencia de la exposición a la radiación ionizante, para de esta manera desglosar claramente los efectos que esta tiene a largo, mediano y corto plazo en personal expuesto.

## 2.2 Formulación del Problema

¿El uso inadecuado de la radio protección y manejo de dosimetría radiológica en el área de imágenes diagnósticas, puede mitigarse con la elaboración de una cartilla informativa?

### 3. Justificación

Esta investigación busca crear un documento o herramienta educativa sobre los efectos nocivos que tiene el no utilizar radioprotección en el área de radiología e imágenes diagnósticas, se generará información certificada y actualizada en los diferentes protocolos no sólo administrativos sino además sobre ingeniería hospitalaria, técnicas y legislación exigidos por las entidades del estado. Este documento nos muestra de manera clara y concisa la enorme cantidad de efectos nocivos y aquellas técnicas de radioprotección que pueden ayudar a eliminar por completo el riesgo de sufrir tales efectos, esta herramienta educativa será la mano derecha de todas aquellas personas que laboren en el campo de la medicina o otras profesión que tenga la utilización de radiación ionizante, evitando así la exposición nociva para el ser humano.

También se realiza este trabajo con el fin de evitar el mal uso de elementos de radioprotección, ya que las personas contraen patologías por la exposición.

#### 3.1 Viabilidad

Debido a los diversos campos laborales en el área de la ingeniería biomédica conocidos, al momento de la práctica es considerable e indispensable para los estudiantes tener información sobre todas la herramientas que existen actualmente para la protección, ayudando así a eliminar los riesgos de contraer patologías por la exposición a radiación Dos campos en los cuales un tecnólogo en Electromedicina o un ingeniero biomédico puede realizar son la dosimetría y radioprotección los cuales nos proporcionan herramientas y protocolos útiles a la hora de salvaguardar nuestra salud

Todos los temas que se desarrollarán en el documento u objeto de información (OI) son completamente respaldados y confirmados por un personal profesional e idóneo en dicho

campo, que cuenta con la experiencia y conocimiento para aportar ideas fáciles de discernir para personas que necesitan definiciones y gráficas prácticas; por lo tanto el trabajo es totalmente factible.

El trabajo seguirá todos los parámetros éticos y bioéticos que rigen todos los trabajos de investigación.

## **4. Objetivos**

### **4.1 Objetivo General**

Exponer una cartilla informativa sobre dosimetría y radioprotección, donde se informe de manera clara y precisa los efectos que causan la exposición a la radiación y aquellos procedimientos que pueden ayudar a que los efectos nocivos disminuyan o puedan evitarse.

### **4.2 Objetivos Específicos**

- Dar a conocer los diferentes conceptos clave que se deben de tener en dosimetría y radioprotección, ayudando así a que el personal se concientice sobre el uso del equipo de protección radiológica.
- Traducir de manera fácil y rápida de entender los conocimientos básicos de las diferentes áreas de la ingeniería biomédica para la realización de actividades como la dosimetría y la radioprotección con el fin de proteger tanto a los usuarios como a los operadores de dicho equipos.
- Identificar las patologías que se pueden adquirir al no realizar un adecuado uso de los elementos de protección radiológica.
- Describir de manera detallada cuales son los efectos adversos que tiene la radiación en el cuerpo humano.

## 5. Antecedentes

Los trabajadores expuestos a las radiaciones ionizantes, tienen sus elementos de protección radiológica, como chalecos, gafas, protectores, guantes entre otros, sin embargo estos implementos de protección se usan cuando se realizan procedimientos en los cuales el médico o tecnólogo tenga que estar presente en la sala de Rayos X los procedimientos, en caso del tecnólogo que es un profesional de la salud dedicado al área de imágenes diagnósticas, en los procedimientos normales como: radiografías, TAC, medicina nuclear, etc..., no se utilizan estos elementos continuamente, para la protección se utilizan tres parámetros: blindaje, tiempo y distancia, sin embargo en la sala queda radiación dispersa que se define como: una haz de radiación el cual se dispersa en varias direcciones con menos energía que la del haz normal del rayo inicial.

Estas radiaciones dispersas a pesar de que manejan niveles de energía bajos también pueden interactuar con tejidos que manejen una alta sensibilidad a la radiación (tiroides, mama, cristalino, cabeza y tejidos del cuello); en la *figura 1* se muestra de manera porcentual las afectaciones de las radiaciones ionizantes naturales (terrestres y radón), las cuales suman un 45% y artificiales, que en su totalidad son un 55%.

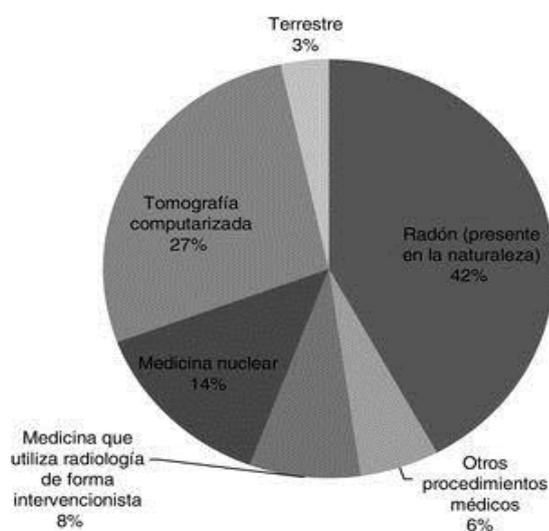


Figura 1 Representación porcentual de la radiación ionizante natural y artificial. Fuente: <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-colombiana-cardiologia-203-articulo-radiacion-ionizante-revision-tema-recomendaciones->

## **6. Marco de Referencia**

Gracias a los avances tecnológicos el campo de las imágenes diagnósticas progresa de una manera acelerada sin embargo el principio de funcionamiento es el mismo la radiación ionizante por esto las medidas de radioprotección para el personal médico que maneja estos equipos debe ser estricta y confiable, además del seguimiento que se les debe realizar al recibir cierta cantidad de radiación dispersa este control hecho por medio de la dosimetría.

Con el objeto de aprendizaje se quiere proporcionar una herramienta útil y de fácil acceso para los estudiantes Electromedicina e ingeniería biomédica de la **Universidad ECCI** donde se pueda hallar información útil para el campo académico sino laboral también

### **6.1 Marco Teórico**

#### **6.1.1 Historia**

En el Año 1895 el científico alemán Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923) descubrió una radiación de tipo desconocido, la cual tenía la propiedad de atravesar cuerpos opacos. Este descubrimiento de la siguiente forma: cuando se administra una descarga de corriente de una bobina por un tubo de *Crooks* el cual esté cubierto totalmente de negro y en una habitación totalmente oscura, se deja una placa recubierta de cianuro de bario y platino; cada vez que se realizaba la descarga dicha placa se tornaba fluorescente hasta en una distancia de dos metros del tubo.

El 8 de noviembre de 1895 se estableció que este fenómeno era provocado por un rayo invisible que tenía forma de onda electromagnética.



Figura 2 primera radiografía, Wilhelm Conrad Röntgen. Fuente: 2016 <http://blog.hypatiaformacion.es/pasado-presente-futuro-los-rayos-x/> [Nov. 2019]

### 6.1.3 Principio de Funcionamiento

Los rayos x son muy similares a los rayos de luz con la excepción de que estos tiene mucha más energía. Esta potente energía corresponde a su longitud de onda corta. Para generar un rayo x se emplea un dispositivo que calienta un cátodo a temperaturas muy altas, haciendo que los electrones se quiebren del cátodo, luego el ánodo, a través del tubo de vacío, tiene una diferencia de potencial que atrae a los electrones a altas velocidades.

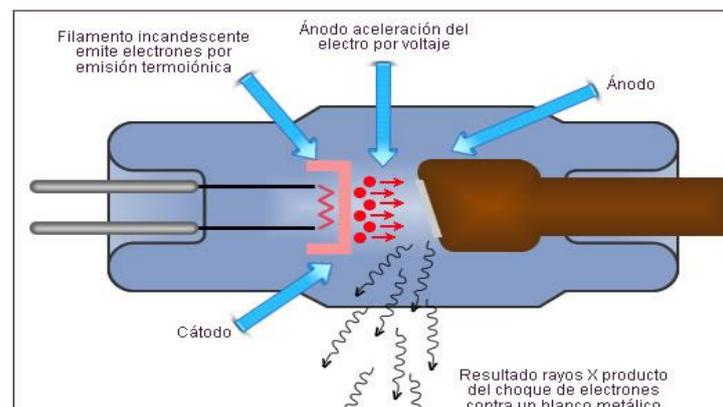


Figura 3 funcionamiento Tubo Rx, Fuente: 2013, [http://www.esanitas.edu.co/Cursos/radiologia\\_tecnologos/Modulo%203/principios.html](http://www.esanitas.edu.co/Cursos/radiologia_tecnologos/Modulo%203/principios.html)

La colisión de los electrones con los ánodos los cuales en su gran mayoría están fabricados con tungsteno, causa un fotón de rayos x. El tubo completo está protegido excepto por una pequeña abertura que le permite a los rayos escaparse en forma de un solo rayo con gran concentración, este rayo viaja a través del espacio chocando con el tejido.

El tejido suave no puede absorber los rayos de alta energía y estos traspasan sin ningún problema, hasta que llegan a los huesos donde estos absorben el rayo debido a su densidad; posteriormente los rayos pasan a través del detector de película el cual trabaja de manera muy similar a una cámara fotográfica. Las áreas que se divisan con el color negro (Radio lucido) representan el tejido suave que ha sido expuesto, mientras que las áreas que presentan la coloración blanca (Radio opaca) son las que no han sido expuestas y los rayos fueron absorbidos.

#### **6.1.4 Radiación**

La radiación es una forma de energía que se emite originalmente de dos maneras: particuladas o corpusculares y electromagnéticas. Estas a su vez, pueden ser ionizantes o no ionizantes. Las radiaciones particuladas se relacionan directamente con el movimiento de electrones, protones y neutrones, los cuales conforman los átomos. Estas radiaciones son características, por ejemplo de la radioactividad, donde se emiten dos tipos de radiaciones: Alfa y beta.

De otro modo más sencillo se puede decir que la radiación es la emisión y propagación de energía, a través del vacío o de un medio material, en forma de onda electromagnética.

#### **6.1.5 Radiaciones Ionizantes**

La ionización es la capacidad de introducir una carga neta dentro de un átomo neutro, este es el proceso en el cual se arranca un electrón de un átomo. Si un átomo recibe un aporte energético suficiente es posible separar de él uno o varios electrones, quedando entonces el átomo eléctricamente descompensado, su número de cargas positivas es superior al de las negativas, y constituye un átomo ionizado, o más precisamente un ion positivo.

Cuando la energía aportada no resulta suficiente para arrancar electrones del átomo, puede serlo para desplazar electrones desde capas internas completas hasta otras más externas incompletas, creándose así huecos en las primeras. Se dice entonces que el átomo está excitado,

y el fenómeno se llama **EXCITACIÓN ATÓMICA**. Estos huecos internos son ocupados espontáneamente por electrones más externos, que caen de un nivel de energía a otro más bajo, emitiéndose al exterior la diferencia. La excitación del átomo también puede producirse a nivel de su núcleo por variación de la energía nuclear. Análogamente, la excitación nuclear se resuelve también con la emisión espontánea de energía, de forma más o menos compleja y con la participación o no de la corteza electrónica. El fenómeno atómico que se produce en las ionizaciones es el siguiente: durante la absorción de energía, se van a producir saltos electrónicos, entre las distintas capas, hasta la salida definitiva de un electrón del átomo. Las radiaciones ionizantes se pueden clasificar en ondas electromagnéticas y 5 corpusculares. ▪

*Electromagnéticas:* rayos X, rayos  $\gamma$  (gamma), zona de ambigüedad de rayos X-rayos U-V. ▪

*Corpusculares:* son aquellas con masa y energía suficiente de ionización. Podemos destacar las siguientes partículas:  $\alpha$ ,  $\beta^-$ ,  $\beta^+$ , n, p, etc...

## 6.1.6 Producción de Rayos X

### 6.1.6.1 Producción Brehmstrahlung o Radiación de Frenado.

Cuando un electrón de alta energía pasa cerca del núcleo desviándose debido a la interacción electromagnética. Por consecuencia a este proceso de desvío, el electrón pierde energía en forma de un fotón X, cuya energía (longitud de onda) puede tomar cualquier valor (hasta el valor que llevaba el electrón incidente). (Martín Martínez-Ripoll, cristalografía, Recuperado e [http://www.xtal.iqfr.csic.es/Cristalografia/parte\\_02.html](http://www.xtal.iqfr.csic.es/Cristalografia/parte_02.html)).

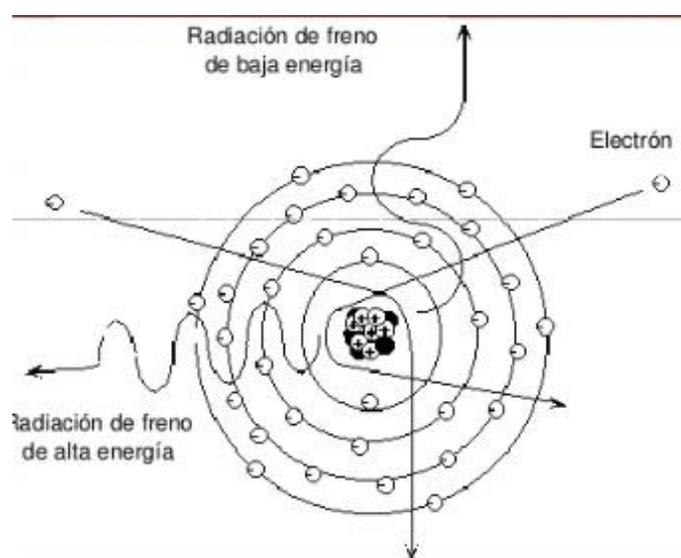


Figura 4 producción RX por frenado. Fuente: <https://es.slideshare.net/JuanManuelChinoMendoza/1-rayos-x-naturaleza-produccion>

### 6.1.6.2 Producción de Rayos X Característicos.

Un electrón de alta energía puede producir la salida de un electrón cercano al núcleo. El vacío que se generó se ocupa por el salto de otro electrón de una capa superior, con mayor energía. Esa diferencia de energía entre niveles (característica del átomo) se transforma en radiación X característica, con una longitud de onda (energía) determinada. (Martín Martínez-Ripoll, cristalografía, Recuperado e [http://www.xtal.iqfr.csic.es/Cristalografia/parte\\_02.html](http://www.xtal.iqfr.csic.es/Cristalografia/parte_02.html)).

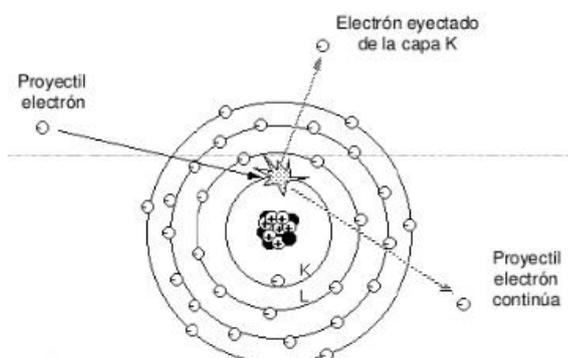


Figura 5 producción RX característicos. [fuente https://es.slideshare.net/JuanManuelChinoMendoza/1-rayos-x-naturaleza-](https://es.slideshare.net/JuanManuelChinoMendoza/1-rayos-x-naturaleza-produccion)

[produccion](#) **REVISAR EN TODAS...**

## 6.2 Protección Radiológica

Además de estar expuesto a la radiación ionizante de origen natural, el ser humano se encuentra está expuesto a fuentes de radiación ionizante de origen artificial. Si bien es cierto la utilización de fuentes de radiación ionizante en su modo artificial generó grandes avances en el ámbito de la medicina, sin embargo a través del tiempo se dieron a conocer los daños que su excesivo o su mal uso podrían producir en la salud; a raíz de este problema se vio la necesidad de establecer un conjunto de normas para la protección del ser humano, lo que dio origen a la disciplina denominada protección radiológica.

Según la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) se dice que: “la protección radiológica es una actividad multidisciplinar, de carácter científico y técnico, que

tiene como finalidad la protección de las personas y del medio ambiente contra los efectos nocivos que pueden resultar de la exposición a radiaciones ionizantes”.

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), fundada en 1928 es un organismo internacional independiente, que emite recomendaciones y asesoramiento sobre todos los aspectos relacionados con la protección contra las radiaciones ionizantes, dichas recomendaciones son la base para el establecimiento de reglamentación y normativa por parte de organizaciones internacionales y autoridades regionales y nacionales.

### ***6.2.1 Medidas Fundamentales de Protección Radiológica.***

Cuando se realizan actividades con radiaciones ionizantes se deben tomar medidas necesarias para conseguir que las dosis recibidas de manera individual sean lo más baja que sea posible para que de esta manera se reduzca la probabilidad de generar sobrexposiciones. De esa manera, las dosis recibidas por los trabajadores expuestos y los miembros del público siempre han de ser inferiores a los límites de dosis establecidos en la legislación.

En las instalaciones médicas de radiodiagnóstico el único riesgo posible es el de irradiación externa, la cual sólo se produce cuando está en funcionamiento una fuente artificial que produzca radiación ionizante, es de importancia aclarar que en el área de radiodiagnóstico son fuentes de radiación todos los equipos fijos o portátiles dotados de un tubo de Rayos X. Se pueden especificar como:

- Radiografía convencional
- Equipo de Fluoroscopio
- Radiografía con equipos móviles
- Radiografía intervencionista
- Tomografía Computarizada

### 6.2.2 Elementos de Protección Radiológica.

A continuación se muestra la tabla de elementos básicos de protección radiológica establecidos en la normativa vigente de la Secretaría de Salud.

*Tabla 1 elementos de radioprotección para el personal y sus características*

Elemento de protección	Características
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alta calidad para facilitar la flexibilidad y la comodidad, este chaleco debe tener una equivalencia de 0,5 mm en plomo. Su diseño único reduce el peso y la fatiga. Opciones. Correas, Velcro o Buckle de liberación rápida. .</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Equivalencia de plomo de 0,5 mm. con cierre de velcro para mayor facilidad a la hora de colocar y retirar el cuello.</li> </ul>



- Sólo 0.09 mm de espesor. Extremadamente flexible y sensible al tacto. Los guantes de caucho sintético atenúan los rayos directos o dispersos durante fases de exposición a la radiación, 10% a 30% de atenuación de 60 kV a 125 kV.



- Gafas graduadas o como gafas para protección contra salpicaduras. Plomo Equivalente Frente: 0,75 mm (+/- 0,05)



- Terminaciones con puntas de goma, garantiza un ajuste seguro. Peso: 58 gramos Plomo Equivalente Frente: 0.75mm (+/- 0.05) vidrio con plomo



- Equivalencia de plomo de 0,5 mm.

<http://radproct.com/accesorios-de-proteccion-radiologica/>

En departamentos donde existan varias salas de fluoroscopia debe existir además un mandil por sala, mandil plomado, collarín protector de tiroides, uno por cada persona, anteojos para quien participe en el procedimiento para la protección del cristalino y guantes plomados.

El médico radiólogo y el técnico radiólogo deben usar los dispositivos de protección para atenuar la radiación dispersa, durante la realización de los estudios radiológicos.

Cuando se realicen estudios con fluoroscopio, se debe tener medidas de protección radiológica, tanto por la necesidad de permanecer cerca del paciente como por el mayor tiempo de exposición, especialmente aquellas asociadas con la protección de gónadas.

### **6.3 Dosimetría**

Es la técnica que se emplea para medir la exposición a la radiación ionizante; se encarga de medir la absorción que realizan los tejidos corporales de dicha radiación, todo esto con el fin de estudiar e investigar posibles consecuencias que puede llegar a tener la radiación y cuáles son los límites razonables de exposición.

#### **6.3.1 La Dosimetría Personal.**

Es aquella que se encarga de cuantificar las dosis recibidas por el personal expuesto a las radiaciones ionizantes. Para realizar la cuantificación de dicha dosis se cuenta con unos dispositivos denominados dosímetros personales entre los cuales encontramos: dosímetros corporales, dosímetros de extremidades y dosímetros de abdomen.

#### **6.3.2 La Dosimetría No Personal.**

Se define como la medición de la radiación que se realiza en un lugar en concreto donde exista una fuente de radiación ionizante. Dentro de esta dosimetría se pueden encontrar diferentes tipos, tales como: la “dosimetría de área para la asignación de dosis personales”, y por otro lado la “dosimetría de área para la evaluación de las zonas” y por último la “dosimetría de control”.

### **6.4 Clasificación de la Dosis Absorbida por Tejidos**

#### **6.4.1 Dosis absorbida (D).**

La dosis absorbida es una magnitud que expresa la cantidad de energía absorbida por unidad de masa cierto material, esta es una magnitud genérica la cual se encuentra definida para

cualquier tipo de radiación o material, se utiliza en radiobiología ya que se caracteriza por ser un buen indicador para estimar el daño producido por la radiación en un órgano que ha sido irradiado por un tipo específico de radiación. En el Sistema Internacional, su unidad es el Gray (Gy), que es igual a J/kg.

#### **6.4.2 Dosis Equivalente (H).**

La dosis equivalente se define como el producto entre uno de estos factores de peso y la dosis absorbida. Por ejemplo, para el caso de la radiación alfa, el factor es 20, mientras que para los rayos X o gamma, el factor es 1 (de los anterior se puede deducir que la dosis absorbida y la dosis equivalente son numéricamente iguales).

Según el Sistema Internacional, su unidad es el Sievert (Sv), diferenciándolo de las dosis absorbidas con el fin de indicar la consideración de daño biológico, esta dosis es un indicador primario de protección radiológica, ya que especifica los límites de radiación para los trabajadores ocupacionalmente expuestos.

#### **6.4.3 Dosis Efectiva (E).**

La probabilidad de aparición de efectos nocivos en un determinado órgano o tejido depende no solo de la dosis equivalente recibida por dicho órgano o tejido, sino también de la radio sensibilidad del órgano irradiado. Por esto, y a partir de la radiación que recibiría una persona en todo su cuerpo, se ha adjudicado un factor de peso (WT) a cada órgano (International Commission on Radiological Protección, 2007), (*Tabla 2*). Cada uno de los coeficientes representa un porcentaje de la irradiación en el cuerpo entero (100%), y su suma total es igual a 1. De esta forma, la dosis efectiva permite diferenciar dos estudios realizados con iguales parámetros radiológicos, pero que en diferentes partes del cuerpo tendrán valores diferentes por irradiar órganos distintos.

**Tabla 2** Coeficientes de radio sensibilidad según los diferentes órganos y tejidos

Tejido Órgano	$W_T$
Mama	0.12
Medula ósea	0.12
Colon	0.12
Pulmón	0.12
Estomago	0.12
Gónadas	0.08
Tiroides	0.04
Vejiga	0.04
Hígado	0.04
Esófago	0.04
Piel	0.01
Cerebro	0.01
Superficie osea	0.01
Glándulas salivales	0.01
Resto del organismo	0.12

Fuente: <http://www.scielo.org.ar/pdf/rar/v78n2/v78n2a09.pdf>

Por otra parte la radiación no solo genera cambios y afectaciones en órganos *figura 9*, sino también en el ADN, en donde la radiación genera una cadena de mutaciones en las células que se encuentran en el organismo, dañando de esta manera una célula sana.

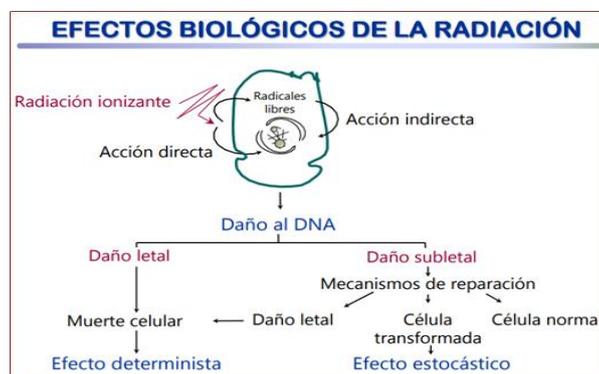


Figura 6 Efectos de la radiación en las células. Fuente: [http://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-19202/Efectos%20de%20las%20RI\\_UCM\\_27%20nov%202014\\_A%20Real.pdf](http://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-19202/Efectos%20de%20las%20RI_UCM_27%20nov%202014_A%20Real.pdf)

### 6.5. Efectos Deterministas a Nivel Celular

Estos efectos se producen por la muerte de un gran número de células muertas ya sean de un tejido o un órgano, se debe tener en cuenta que el riesgo de este efecto es directamente proporcional a la dosis recibida, por otra parte es importante resaltar que no se debe dejar sobrepasar la dosis umbral para que ocurran efectos adversos.

Estos efectos se dan por tener una exposición a dosis relativamente altas de radiación.

**Tabla 3** *Efectos Biológicos Radio inducidos*

	Efectos estocásticos	Efectos deterministas
Mecanismo	Lesión subletal una o pocas células	Lesión letal de muchas células
Naturaleza	Somáticos o heredables	Somáticos
Gravedad	Independiente de dosis	Dependiente de dosis
Dosis umbral	NO	SI
Relación dosis-efecto	Lineal-cuadrática	Lineal
Aparición	Tardía	Inmediata o tardía

Se muestran las características a tener en cuenta a la hora de que las células puedan contraer enfermedades cancerígenas Vs los efectos provocados por dicha radiación ya sean a corto o largo plazo.

**Tabla 4** *Coefficientes de radio sensibilidad según los diferentes órganos y tejidos*

Tipo celular	Muerte implica	Dosis
Células diferenciadas	Perdida de función	100
Células que se dividen	Pérdida de capacidad de división	1

Fuente: <http://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag->

[19202/Efectos%20de%20las%20RI\\_UCM\\_27%20nov%202014\\_A%20Real\\_pdf.pdf](http://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-19202/Efectos%20de%20las%20RI_UCM_27%20nov%202014_A%20Real_pdf.pdf)

En el proceso de reacción celular frente a la radiación influyen tres tipos factores a continuación se muestra el listado y el componente que se ve afectado por este:

- Físicos:

LET, tasa de dosis

- Biológicos

Ciclo celular, reparación

- Químicos:

Oxígeno

**Tabla 5** *Efectos Deterministas A Nivel Tisular de la célula*

Tejido	Efecto	Periodo De Latencia Aproximado	Umbral Aproximado (Gy)	Dosis Efectos Severos	Causa
Sistema hematopoyético	Infecciones hemorragias	2 semanas	0.5	2.0	Leucopenia Plaquetopenia
S. inmune	Inmunosupresión	Algunas horas	0.1	1.0	linfopenia
S. Gastrointestinal	Deshidratación Desnutrición	1 semana	2.0	5.0	Lesión epitelio intestinal
Piel	Escamacion	3 semanas	3.0	10.0	Daño capa basal
Testículo	esterilidad	2 meses	0.2	3.0	Aspemia
Ovario	esterilidad	< 1 mes	0.5	3.0	Muerte del ocito
Pulmón	Neumonía	3 meses	8.0	10.0	Fallo barrera alveolar
Cristalino	Cataratas	> 1 año	0.2	5.0	Fallo en maduración
Tiroides	Deficiencias metabólicas	< 1 año	5.0	10.0	Hipotiroidismo
S.Nervioso central	Encefalopatía y mielopatía	Variable según dosis	15.0	30.0	Desmineralización y daño vascular

Fuente:<http://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag->

[19202/Efectos%20de%20las%20RI\\_UCM\\_27%20nov%202014\\_A%20Real\\_pdf.pdf](http://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-19202/Efectos%20de%20las%20RI_UCM_27%20nov%202014_A%20Real_pdf.pdf)

### 6.5.1 Efectos Deterministas Piel y Ojos

- Piel:

Eritema: transitorio <1Gy; 3-6 Gy (crónico 30Gy).

Quemaduras: 5-10 Gy (crónico 35Gy).

Alopecia: reversible con 4Gy; irreversible 7 Gy

Descamación; atrofia; efectos retardados (teleangiectasia, fibrosis): 10 Gy (crónico 40Gy)

- Ojo:

La lente del ojo es muy aguda, además está rodeada por muchas células crónicas



Figura 7 Dosis umbral para el lente ocular. Fuente:[http://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-19202/Efectos%20de%20las%20RI\\_UCM\\_27%20nov%202014\\_A%20Real\\_pdf.pdf](http://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-19202/Efectos%20de%20las%20RI_UCM_27%20nov%202014_A%20Real_pdf.pdf)

En el sistema hematopoyético los efectos deterministas provocados son:

- Pancitopenia
- Infecciones
- Hemorragias
- Anemia

Dosis umbral: 0.5 Gy (10-14 Gy) (2.0Gy efectos muy severos)

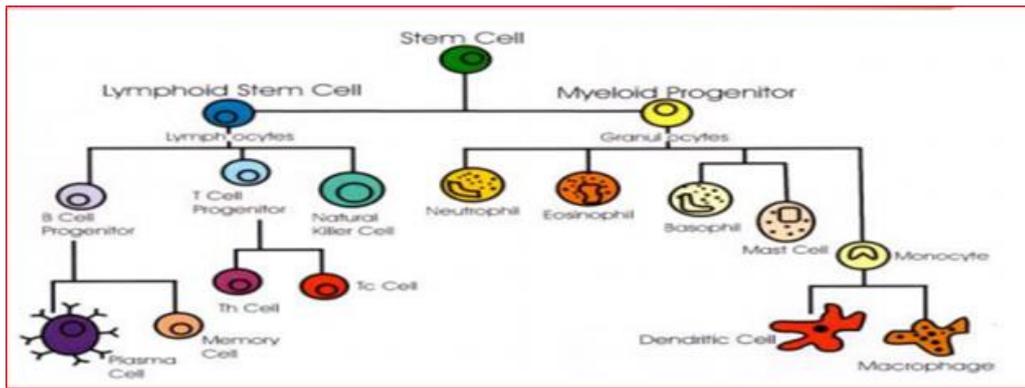


Figura 8 Efectos Determinísticos Tracto Gastrointestinal, Fuente:[http://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-19202/Efectos%20de%20las%20RI\\_UCM\\_27%20nov%202014\\_A%20Real\\_pdf.pdf](http://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-19202/Efectos%20de%20las%20RI_UCM_27%20nov%202014_A%20Real_pdf.pdf)

### 6.5.2 Efectos Determinísticos Órganos Reproductores

Femeninos: los efectos se pueden evidenciar dependiendo de la cantidad de dosis recibida, respectivamente la exposición y edad, 2 Gy los cuales producen esterilidad permanente en mujeres mayores a 40 años pero esterilidad temporal en mujeres menores de 35.

La dosis umbral:

-3.0-6.0 Gy esterilidad permanente

-0.6 Gy esterilidad temporal

Masculinos: las células madre y las espermatogonias tienen un alto grado de radio sensibilidad, el fraccionamiento de dosis o la irradiación crónica son más peligrosas ya que están produciendo esterilidad permanente.

Dosis umbral:

3.5-6.0 Gy esterilidad permanente

0.15 Gy esterilidad temporal

### 6.5.3 Efectos deterministas sistema nervioso central

En este sistema se observa una particularidad la cual consiste en una resistencia mayor a los efectos de la radiación, en este caso solo dosis demasiado altas pueden causar algún tipo de efecto, por ejemplo 50 Gy produce daño en la médula espinal engrosando los vasos, diluyendo la materia blanca y mielitis.

### 6.5.4 Efectos deterministas en pulmón y riñón.

Los efectos deterministas en otros órganos como pulmón y riñón, se aprecian a continuación con sus respectivas dosis:

- Pulmón: Neumonitis aguda 18 Gy (4-6 meses), con dosis muy altas se puede producir fibrosis pulmonar, patología que consiste en la acumulación de fibrina en los alveolos y sepsis dando como resultado dificultad respiratoria (6 meses – 1 año post-irradiación).
- Riñón: Nefrosclerosis, nefritis, hipertensión y fallo renal (2-3 años; 30 Gy)

### 6.5.5 Efectos deterministas nivel adulto

#### 6.5.5.1 Síndrome de la Irradiación Aguda

Cuando las dosis de radiación son muy altas o están en el límite generan cambios en funcionamiento de los órganos, y por consecuencia se presentan síntomas; estos dependiendo de su gravedad se clasifican en varias etapas:

**1. Prodrómica:** Abarca los signos y síntomas que se manifiestan en las primeras 48 horas tras estar expuesto a la irradiación y es consecuencia de la reacción del sistema nervioso autónomo. Se caracteriza por síntomas como: Náuseas, vómitos, diarreas, cefaleas, vértigo, alteraciones de los órganos de los sentidos, taquicardia, insomnio.

**2. Latente:** su principal característica es la ausencia de síntomas en las primeras horas, y el tiempo en el cual se desarrollan varían entre días y semanas.

**3. Enfermedad manifiesta:** su característica principal es la aparición de síntomas concretos en los órganos y tejidos en los cuales se recibió más dosis de radiación.

Además de los tres estados anteriormente mencionados, se tienen tres síndromes que son generados por la irradiación aguda.

**Tabla 6** Síndromes de la radiación aguda.

	Dosis	Prodrómica	Latencia	Enfermedad Manifiesta	Muerte
S. Medula ósea	3-5 Gy	Pocas Horas	Algunos días # semanas	Infecciones, Hemorragias	30-60 días (>3Gy)

S. Gastrointestinal	3-5 Gy	Pocas Horas	2-5 Días	anemias Deshidratación, Desnutrición Infecciones	10-20 días
S. Sistema Nervioso Central	3-5 Gy	Minutos	Escasas horas	Ataxia, Coma Convulsiones	1-5 días

Fuente: <http://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag->

19202/Efectos%20de%20las%20RI\_UCM\_27%20nov%202014\_A%20Real\_pdf.pdf

### **6.5.5.2 Síndrome de la irradiación crónica**

Este tipo de radiación esta es más frecuentemente en la radioterapia y quimioterapias fraccionadas, las cuales generan una radiación parcial en el cuerpo, produciendo un desorden neurovegetativo.

### **6.5.6 Efectos Deterministas Individuo en Desarrollo**

Estos efectos de mortalidad e indirectamente de anomalías, dependen directamente del momento de desarrollo del feto en el cual el feto haya recibido la dosis de radiación; se tiene claro que cuando se produce la fertilización del óvulo, allí comienza una etapa muy activa de división celular, Si el cigoto recibe la dosis de radiación antes que se implante en la mucosa del útero este podría tener un alto grado de mortalidad; sin embargo cuando ya se ha iniciado la etapa de diferenciación característica de la fase de la organogénesis, la probabilidad de muerte en el embrión baja, pero aumenta la posibilidad que aparezcan anomalías en su estructura produciendo deformidades o patologías de base.

La irradiación de 3-8 semanas de gestación puede producir anomalías graves en diferentes órganos especialmente en el esqueleto y en el sistema nervioso central.

Entre las semanas 8 y 15 es menos frecuente la aparición de anomalías aparentes y muertas prenatal, se puede producir un retraso mental y una disminución en el cociente de inteligencia.

La exposición entre 15 y 26 semanas también produce una disminución en el cociente aunque esta ya es menos severa.

La radio resistencia del feto aumenta durante la última fase del desarrollo al incrementarse un número de células y disminuir la actividad mitótica, tal como se muestra en la Tabla 7.

**Tabla 7** Dosis riesgosas en etapa de gestación.

Periodo de Gestación	Riesgo	Dosis
Inicio del embarazo	Aborto Espontaneo	1,0 Gy
Semana 2	Aborto Espontaneo	1,0 Gy
Semana 8	Malformaciones en el Feto	0,5 Gy
Semana 15	Retraso Mental	0,4 Gy
Semana 26	Retraso Mental	0,4 Gy
Final del embarazo	Riesgo Similar al del Adulto	0,4 Gy

Copyright: <http://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag->

19202/Efectos%20de%20las%20RI\_UCM\_27%20nov%202014\_A%20Real\_pdf.pdf

## 6.6 Efectos Estocásticos

Cuando una célula recibe dosis de radiación, y esta no muere, genera una modificación en su carga genética de ADN, dando como resultado los denominados *efectos estocásticos*. Estos efectos ocurren cuando se reciben pequeñas dosis de radiación, que al ser acumuladas producen un aumento en la probabilidad de que ocurran, la gravedad de estos efectos depende directamente de la dosis de radiación recibida, a mayor dosis mayor es el riesgo y gravedad efecto.

La gravedad de estos efectos depende de dos factores como el tipo de célula afectado y el mecanismo de acción del agente agresor que interviene, en el campo de la medicina se tiene cierta controversia sobre la existencia o no de dosis umbral para la aparición de efectos estocásticos; cuando los efectos estocásticos se presentan pueden ser de dos clases hereditarios y somáticos; en el caso de una célula que se ha expuesto a radiación, esta se verá modificada generando una célula somática, y por consecuencia el efecto se pondrá de manifiesto en el individuo que ha sido expuesto a la radiación; si por el contrario la célula que reciba la dosis de

radiación es una célula germinal esta se modificara genéticamente, y el efecto biológico no se pondrá de manifiesto en el individuo expuesto sino en su descendencia (caso hereditario).

Es importante mencionar que en el manejo de la protección radiológica se consideran dosis bajas o normales aquellas cuyos valores son inferiores a 0,2 Gy y tasas de dosis bajas.

### 6.6.1 Efectos Estocásticos: Desarrollo del Cáncer

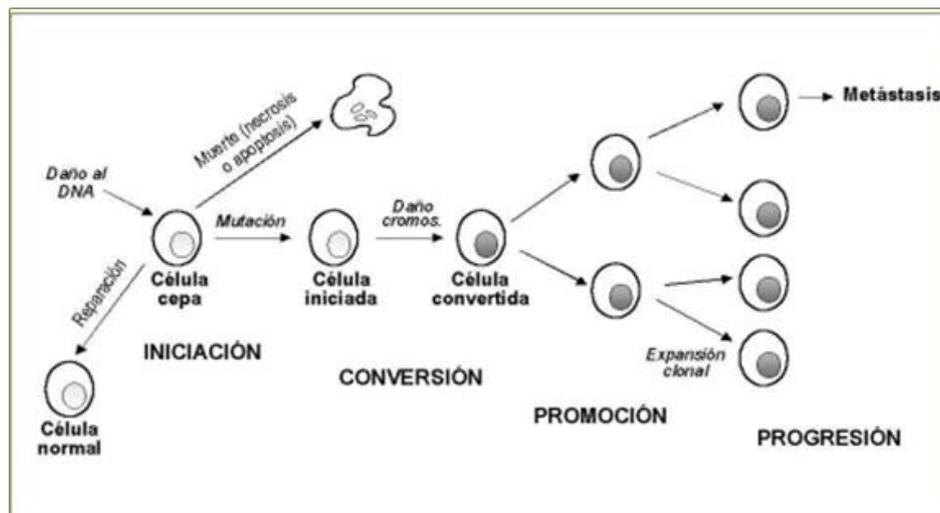


Figura 9 Etapas de la célula al modificar su ADN al recibir radiación

FUENTE:

A lo largo de la historia desde el descubrimiento de los Rayos X, se le han atribuido beneficios para la medicina en el campo de las imágenes para el diagnóstico de enfermedades, sin embargo el inadecuado uso, la sobreexposición, y la falta de elementos de protección radiológica, hacen que los daños colaterales de esta sean evidentes, el daño que la radiación ionizante producía en el organismo fue reconocido en 1895, en 1902 se descubrió el primer caso de cáncer provocado por radiación, este se caracterizó por una lesión en la piel de característica ulcerosa y con el paso del tiempo se evidenció la aparición de muchos tumores de piel.

### 6.6.2 Modelo Multietapa

A pesar de la gran multiplicidad de fenómenos producidos por la radiación en células, tejidos y órganos, se han desarrollado varios modelos generales para describir el proceso

carcinogénico, sin embargo actualmente el más aceptado por entidades a nivel global es el modelo multietapa. Dicho modelo predice que un cáncer aparece como consecuencia de una serie de sucesos que pueden ser totalmente independientes, pero que con frecuencia están ligados, pudiendo incluso estar mediados por el mismo agente. El modelo multietapa considera que el desarrollo de cáncer tiene lugar en cuatro etapas: iniciación, conversión, promoción y progresión.

#### ***6.6.2.1 Iniciación***

En esta etapa implica el inicio de cambios estables o mutaciones en la genética de la célula, por lo general de carácter irreversible, por lo general esta mutación se ve reflejada en uno o más genes importantes para el control del crecimiento y diferenciación celular, por consiguiente los genes modifican su función en una dirección que favorece el crecimiento celular (proliferación) o por el contrario dificulta o impide la diferenciación de las células; Para esta no existe un límite o umbral para que tenga lugar la iniciación de los cambios celulares, la cual puede ocurrir en respuesta a una exposición única al agente iniciador, volviéndose permanente tras un único ciclo mitótico de característica irreversible; El evento anteriormente descrito cuando inicia las células hijas ya tienen la mutación genética durante las próximas divisiones celulares.

Los mecanismos epigenéticos que intervienen en este caso aún no han sido determinados, pero podrían ser equivalentes a los que provocan los cambios hereditarios estables que aparecen durante la diferenciación celular, proceso en el que las células se especializan para desarrollar funciones específicas. En general, este proceso no implica daño genético y probablemente está mediado por una combinación de patrones alterados de mutación del ADN y cambios en los factores de transcripción, que darán lugar a patrones alterados de expresión génica.

### **6.6.2.2 *Conversión:***

En esta etapa las células pre-neoplásicas se pueden desarrollar hasta unas células malignas, mediante la acumulación de mutaciones genéticas adicionales. Hay diversos estudios que sugieren que la multiplicidad celular, característica fundamental del desarrollo maligno, adicionalmente la adquisición temprana de dichas mutaciones también puede generar patologías de cierto grado de malignidad. Un claro ejemplo de eventos de desestabilización del genoma son las mutaciones inducidas en el gen TP53.

La inducción de una alta frecuencia de mutaciones en una etapa temprana del desarrollo tumoral, puede ayudar a que se produzca una gran heterogeneidad celular dentro de una población de células pre-malignas; estas células pueden llegar a tener la capacidad de evadir los controles celulares que actúan restringiendo la proliferación de células aberrantes, las cuales tienden a ser seleccionadas durante la tumorigénesis. Los mecanismos de conversión todavía no están claros, sin embargo esta inducción puede ocurrir después de una exposición única de tipo agudo y de esta manera crear un agente conversor, que en algunos casos puede ser reversible durante un largo período de tiempo; varios de estos agentes conversores tienden a aumentar su estado de oxidación.

### **6.6.2.3 *Promoción***

Este es un proceso que requiere exposición prolongada o repetida al agente promotor y por lo general es reversible si el daño es eliminado, para este caso si existe una dosis umbral del agente por debajo de la cual no tiene lugar el desarrollo tumoral; en esta etapa, se desencadena una respuesta hiper-proliferativa en células iniciadas y convertidas, formándose una población de células que expresan un fenotipo alterado, los agentes promotores van produciendo efectos detectables, ya sea sobre la bien sobre la reproducción celular en sí misma, o sobre procesos que son necesarios para el crecimiento y división celular.

#### **6.6.2.4 Progresión**

Esta es una etapa poco conocida del proceso carcinogénico, siendo una manera compleja y multifacética en la que las células hijas pre-neoplásicas, acumulan cambios celulares que afectan a la tasa de crecimiento con respecto a la respuesta a factores de proliferación, diferenciación, la capacidad de invasividad y de metástasis; dichas variables fenotípicas se dice que son el resultado de mutaciones genéticas adicionales. Existen algunos datos sobre mutaciones en genes que codifican proteínas de la membrana celular, viéndose alteradas de esta forma las interacciones de estas células con su entorno.

#### **6.6.3 Efectos Estocásticos Hereditarios**

Como se mencionó anteriormente, las radiaciones ionizantes pueden llegar a producir efectos hereditarios en poblaciones o personal que pueden llegar tener contacto con radiaciones ionizantes, cuando se ve modificado en gen del ADN en las células germinales masculinas o femeninas, estas mutaciones, aunque no tienen consecuencias directas en el individuo expuesto, pueden expresarse en generaciones posteriores como desórdenes genéticos de muy diverso tipo y diferentes grados de gravedad.

La estimación del riesgo de efectos hereditarios en humanos como consecuencia de la exposición a radiación se basa en el marco general de las enfermedades genéticas que ocurren de forma natural y en su clasificación en:

##### **6.6.3.1 Mendelianas**

Estas enfermedades aparecen cuando debido a las dosis de radiación solo se ve afectado solamente un gen. Dependiendo de la localización del gen mutado y de sus efectos en el fenotipo, las enfermedades Mendelianas se clasifican en autosómicas dominantes, autosómicas recesivas, ligadas al cromosoma X (dominantes o recesivas).

### 6.6.3.2 Cromosómicas

Debido a las dosis de radiación recibidas las anomalías cromosómicas numéricas son la pérdida o la ganancia de uno o varios cromosomas, estas radiaciones a diferencia de las enfermedades mendelianas, afectan tanto a autosomas (cualquier cromosoma que no sea sexual) como a cromosomas sexuales.

### 6.6.3.3 Multifactoriales

Con la complejidad en las interacciones entre diversos factores genéticos y ambientales, se pueden desarrollar anomalías congénitas comunes, las cuales se encuentran presentes en el momento del nacimiento y enfermedades crónicas en adultos; actualmente existen estudios en donde se evidencia aquellas deleciones de genoma que afecten a múltiples locus, que constituyen una clase predominante de mutaciones inducidas por radiación.

Se dice que solo una parte de estos eventos los cuales se encuentran en pérdida multigénica será compatible con el desarrollo embrionario/fetal y el nacimiento de un ser vivo. Por lo tanto principal efecto genético adverso en humanos es probable que consista en anomalías multisistema durante el desarrollo, en lugar de enfermedades de genes únicos.

Para el cálculo del riesgo estimado, existe un método expresado de la siguiente manera:

$$\text{Riesgo por Unidad de Dosis} = P * \frac{1}{DD} * MC * PRCF$$

Donde:

$P$ = Frecuencia de la base de la enfermedad que se esté considerando.

$1/DD$ = Riesgo relativo de mutación por unidad de dosis.

$MC$ = Componente de mutación específico de la enfermedad para la generación de interés.

$PRCF$ = Factor de corrección de la recuperabilidad potencial.

$DD$ = Dosis dobladora, la cual es definida como la dosis de radiación necesaria para producir tantas mutaciones como las que ocurren espontáneamente en una generación, esta es calculada

mediante el cociente de la frecuencia espontánea media y la frecuencia inducida media de mutaciones.

#### **6.6.4 Magnitudes para cuantificar los efectos estocásticos**

La magnitud dosimétrica fundamental utilizada en protección radiológica es la dosis absorbida (D), que es la energía absorbida por unidad de masa, siendo su unidad el julio por kilogramo, que recibe el nombre especial de Gray (Gy). Se ha observado que la probabilidad de que se produzcan efectos estocásticos depende no sólo de la dosis absorbida sino también del tipo y energía de la radiación que ha dado lugar a dicha dosis. Esto se tiene en cuenta ponderando la dosis absorbida por un factor relacionado con la calidad de la radiación.

Como ya se ha visto, el factor de ponderación utilizado para este fin se conoce con el nombre de factor de ponderación de la radiación ( $w_R$ ) y se selecciona en función del tipo y energía de la radiación incidente sobre el cuerpo o, para fuentes internas, en función del tipo y energía de la radiación emitida por la fuente. La dosis ponderada se conoce como dosis equivalente (HT), cuya unidad es el julio por kilogramo y recibe el nombre de Sievert (Sv).

La eficacia biológica relativa (RBE) de una radiación, frente a la de otra, es la relación inversa entre las dosis absorbidas que dan lugar a la aparición del mismo efecto biológico. La relación entre la probabilidad de aparición de efectos estocásticos y la dosis equivalente también depende del órgano o tejido irradiado. El factor utilizado para ponderar la dosis equivalente en un tejido u órgano se denomina factor de ponderación del tejido,  $w_T$ , y representa la contribución relativa de ese órgano o tejido al detrimento total debido a los efectos estocásticos resultantes de la irradiación uniforme de todo el cuerpo. La dosis equivalente ponderada se denomina dosis efectiva (E) y su unidad es el julio por kilogramo y recibe el nombre de Sievert (Sv).

## 7. Metodología

Esta investigación tiene como objetivo principal dar a conocer los efectos adversos que se adquieren al no realizar un adecuado uso de los elementos de radioprotección, cuando se está inmerso en el ámbito laboral de las radiación ionizante; la incidencia de esta mala práctica se ve reflejada en la caracterización de patologías, las cuales se manifiestan en el estado de salud de los individuos, que debido a sus acciones laborales pueden acelerar mitigar dicho proceso.

La claridad de la información consultada, busca orientar tanto a los investigadores como a los lectores con datos que permitan crearse nuevas preguntas que más adelante sean utilizadas en otras situaciones.

Los medios utilizados para la investigación mostrada anteriormente fueron analizados de manera íntegra con el fin que la información compilada allí fuera pertinente y permitiera describir de manera clara las consecuencias del uso inadecuado de los elementos de protección para el personal que manipula equipos de radiaciones ionizantes.

Se utilizaron páginas web, blogs de medicina, artículos de revistas científicas en los cuales se exponen definiciones, casos clínicos, patologías derivadas de la exposición a la radiación, entre otros, todo lo anteriormente mencionado ha sido citados de manera pertinente al final de este trabajo para así evitar confusiones que lleven a las personas a pensar que se incurrió en plagio.

La población a la que va dirigida la cartilla son aquellas personas que laboren o que tengan algún tipo de contacto directo o indirecto con alguna fuente de radiación ionizante, se analizarán las técnicas, las dosis de radiación límite, como se evidencian las patologías, la forma en que lo hacen para así poder determinar el error al utilizar los elementos de radioprotección, lo que conlleva a la absorción de dosis que lleve a resultados y con estos crear estrategias que puedan ayudar.

Con lo anteriormente expuesto se describe un enfoque de tipo cuantitativo, en donde se determina una investigación documental, ya que se recolecto información de diferentes términos, patologías, casos clínicos entre otros, y se describen de manera clara las consecuencias del inadecuado uso de las medidas de radioprotección.

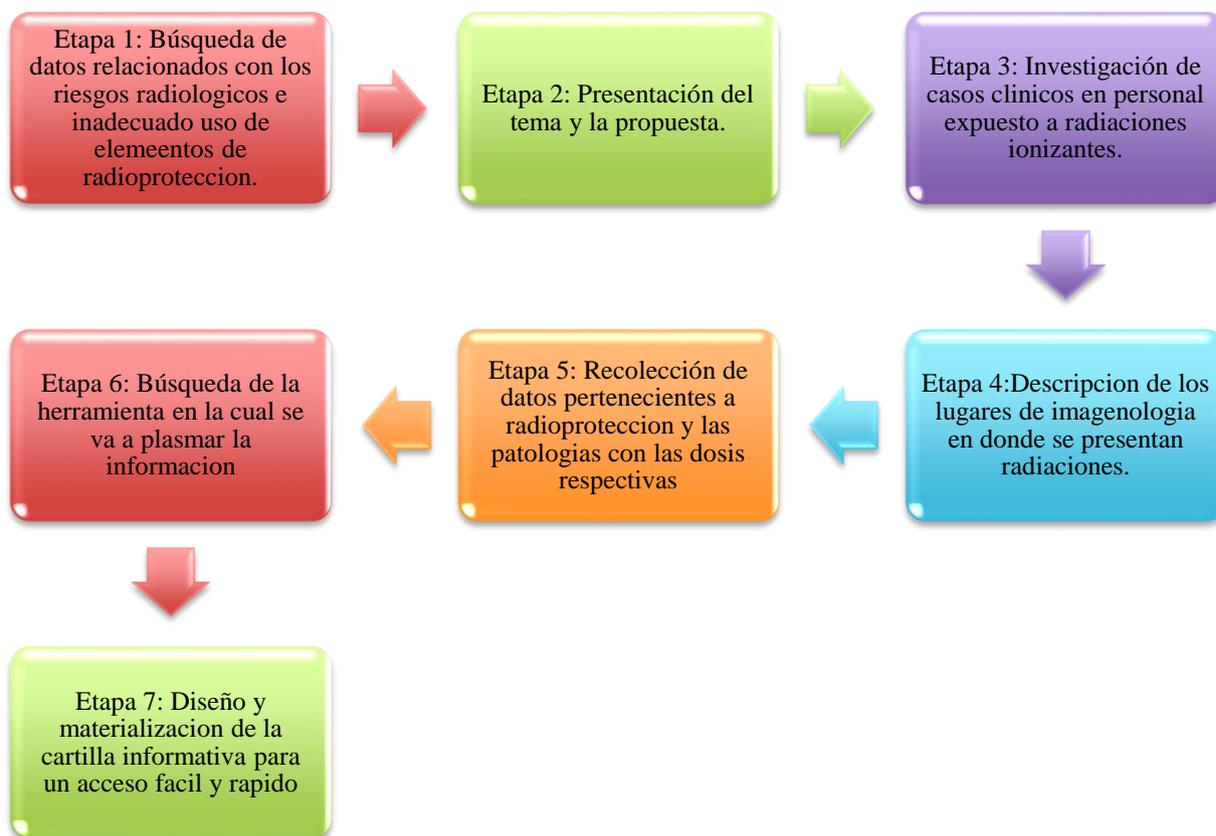


Figura 10 . Etapas del proceso de desarrollo del diseño de la cartilla informativa.

*Fuente autora*

A continuación se describen las etapas anteriormente mencionadas:

**Etapa 1:** Inicialmente se realiza la búsqueda de información sobre cuáles son los riesgos de las radiaciones ionizantes en el ser humano, al estar expuesto a ella; en el ámbito laboral se busca profundizar en cuáles son las patologías, que se desarrollan al no realizar un adecuado uso de los implementos de radioprotección establecidos.

**Etapa 2:** Al observar que no existe ningún material explicativo que dé a conocer las consecuencias del inadecuado uso de los elementos de radioprotección, se efectúa la propuesta

del diseño y realización de una cartilla la cual explique las consecuencias del inadecuado uso de la radioprotección en el personal que trabaja con radiaciones ionizantes.

**Etapa 3:** posteriormente se genera una investigación de los casos en los cuales, el personal del servicio de radiología genera patologías por exposición a la radiación, a consecuencia del no uso o inadecuado uso de los elementos de radioprotección.

Rev.Médica.Sanitas 12 (2): 42-48, 2009

### RIESGO DE DESARROLLAR CÁNCER DE TIROIDES EN RADIOLOGOS Y TECNÓLOGOS DE RADIOLOGÍA CON EXPOSICIÓN OCUPACIONAL A RADIACIÓN IONIZANTE

<sup>1</sup> SEGURA, W. <sup>2</sup> TELLEZ, D.

<sup>1</sup> Residente Radiología Fundación Universitaria Sanitas. Especialista en Docencia Universitaria  
<sup>2</sup> Director Instituto de Investigaciones Fundación Universitaria Sanitas

#### RESUMEN

Existen, a nivel de la práctica clínica, numerosas dudas acerca de los riesgos a los cuales se exponen los trabajadores de la salud que participan en el proceso diagnóstico con radiaciones ionizantes, de los cuales tal vez el principal es el probable desarrollo de neoplasias. Se realizó una revisión exhaustiva de la literatura en búsqueda de artículos primarios que respondiesen a esta pregunta. Posterior a esto se realizó el análisis crítico de literatura y se extrajeron los principales desenlaces. Resultados: La radiación ionizante es potencialmente un agente etiológico del cáncer de tiroides, teniendo en cuenta que existen factores tanto ocupacionales como no ocupacionales que aumentan el riesgo en ciertos tecnólogos de radiología. Sin embargo, luego de la línea de base del estudio, la ocurrencia de cáncer de tiroides de manera general no se asocia con el empleo como tecnólogo en radiología. Se encontró que el factor ocupacional de mayor impacto es acompañar en más de 50 oportunidades a pacientes durante estudios de radiología.

Ac  
lr z

Figura 11 Fuente: Segura W, T. D. (2009). RIESGO DE DESARROLLAR CÁNCER DE TIROIDES EN RADIOLOGOS Y TECNÓLOGOS DE RADIOLOGÍA CON EXPOSICIÓN OCUPACIONAL A RADIACIÓN IONIZANTE. Revista Médica Sanitas, 12, 42-48. Obtenido de <http://www.unisanitas.edu.co/Revista/1/orlando%20seg>

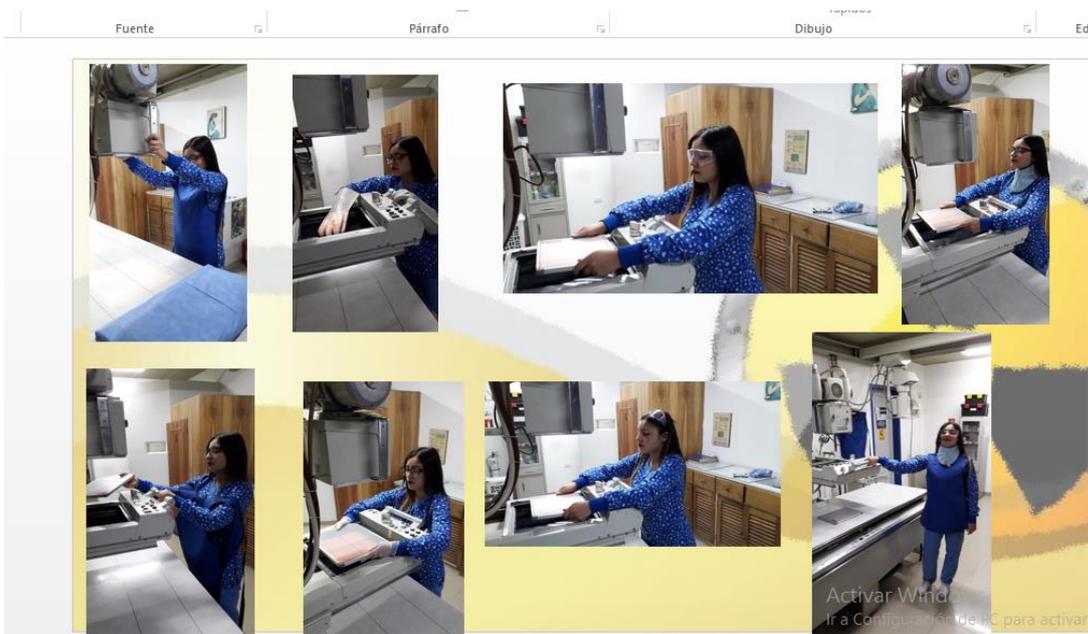
**Etapa 4:** Se realiza una descripción de los lugares en los cuales las imágenes diagnósticas, están relacionadas con radiaciones ionizantes (enfocadas a los Rayos X), y los elementos de radioprotección utilizados en cada servicio.

**Etapa 5:** Al tener claro las patologías desarrolladas por el inadecuado uso de los implementos y normas de radioprotección presentadas en la etapa 3, se procede a indagar cuales son las dosis limites que desencadenan cada tipo de patología, y si esta pertenece a un efecto determinístico o estocástico.

**Etapa 6:** Se piensa en un medio el cual cada servicio pueda tener acceso y que se pueda archivar en caso de hacer efectiva algún tipo de consulta, no solo por el personal del servicio de radiología, si no personal que desee este tipo de información con algún fin; por tal motivo se decide plasmar la investigación en un medio físico como una cartilla.

**Etapa 7:** En esta etapa se realiza un diseño sencillo, con definiciones básicas del funcionamiento de los rayos x, dosis de radiación, elementos de radioprotección y normas básicas de las mismas, además de las patologías y dosis relacionadas.

Por otra parte cuenta con imágenes ilustrativas de cómo se usa correcta e incorrectamente cada uno de los elementos de protección como se muestra en la *figura 11*, esto con el fin de dar claridad a su uso y la importancia de disponer de los mismos, en esta actividad.



*Figura 12* diseño de las ilustraciones mostradas en la castilla. Fuente: autora

## 7.1 Cronograma de Actividades

A Continuación se muestra el cronograma de las actividades desarrolladas a lo largo del proyecto, mostrando así los tiempos utilizados desarrollando cada una de ellas actividades propuestas para el mismo.

AÑO 2019									
Actividad	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre				
Investigación									
Tutorías									
Casos Clínicos									
Diseño Cartilla									
Registro Fotográfico									

Figura 13 Cronograma de actividades propuestos para el desarrollo de la cartilla.

Fuente: Autora.

## 8. Resultados

Los parámetros que se tuvieron en cuenta para el diseño de la cartilla fueron conceptos básicos sobre la definición de rayos x, elementos y lineamientos de radioprotección además de las consecuencias del inadecuado uso de los mismos, como son las patologías y las dosis de radiación que son necesarias para que esta se desarrolle.



Figura 14 Diseño de la cartilla informativa

Fuente: autora.

Es importante mencionar que para determinar la eficiencia de la cartilla y esta pueda ayudar a mitigar el inadecuado uso de los elementos de radioprotección, se tiene que aplicar a varias

instituciones prestadoras del servicio, como clínicas, IPS y centros médicos; esperando resultados en un tiempo de mediano plazo para poderlo cuantificar estadísticamente.

## **9. Conclusiones**

A lo largo de la investigación además de identificar las patologías relacionadas con el inadecuado uso de la radioprotección, sus dosis entre otros; también se evidencia que el uso adecuado de estos es en casos en los cuales se realizan procedimientos intervencionistas o directamente en la sala de rayos x, sin embargo, cuando son procesos asistenciales en la sala de radiología no son practicados y esto hace que se aumenten enfermedades a corto, mediano o largo plazo, que estén ligadas a la sobredosis de radiación.

Se realizó el diseño de la cartilla en un formato digital para su posterior materialización sobre las consecuencias del inadecuado uso de los elementos de protección radiológica, de esta manera generando un modo de información sencillo y de fácil acceso, no solo para personal que labore en el campo de la imagenología, sino a demás para estudiantes de tecnología en Electromedicina e ingeniería biomédica.

Se implementó los conocimientos adquiridos en materias relacionadas con biofísica, introducción a la ingeniería biomédica y materias de ciencias básicas como física, siendo estas componentes del pensum académico de la carrera.

No solo es importante que el personal de imagenología tenga claro este tipo de conocimientos, sino que además personas que están en el departamento de ingeniería y gustan de este tema estén capacitados para posteriores labores que quieran realizar.

Es de carácter importante que el personal de ingeniería biomédica que se encuentra expuesto a radiaciones ionizantes, tengan claro las medidas de radioprotección y las consecuencias que pueden llegar a tener ya que estos procesos no se ven en la carrera como tal, así que la cartilla brinda una información necesaria para el campo biomédico.

## 7. Bibliografía

- Aníbal E. Badel, J. S.-M.-I. (mayo de 2018). Radiación ionizante: revisión de tema y recomendaciones para la práctica. *Revista Colombiana de Cardiología*, 25(3), 222-229. Obtenido de <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-colombiana-cardiologia-203-articulo-radiacion-ionizante-revision-tema-recomendaciones-S0120563318300275>
- Consejo de Seguridad Nuclear. (02 de septiembre de 2008). Obtenido de Protección radiológica: <https://www.csn.es/proteccion-radiologica>
- D. Andiscoa, c. S. (2014). Dosimetría en radiología. *Revista Argentina de Radiología*, 115-117.
- davalos, A. M. (2012). *El uso de los rayos x en la medicina*. Recuperado el 15 de 07 de 2018, de <http://www.smf.mx/boletin/Oct-95/ray-med.html>
- Federacion de Enseñanza. (2004). RADIACIONES. *Temas Para la Educacion*, 7-11. Obtenido de <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd5396.pdf>
- Ferrando, P. S. (09 de marzo de 2015). Carcinoma de mama en trabajadora expuesta a radiaciones ionizantes. *Asoc Esp Med Trab*, 33-35. Obtenido de [http://scielo.isciii.es/pdf/medtra/v24n1/caso\\_clinico1.pdf](http://scielo.isciii.es/pdf/medtra/v24n1/caso_clinico1.pdf)
- Gallego, A. R. (14 de 08 de 2000). *EFFECTOS BIOLÓGICOS DE LAS*. Obtenido de Centro de investigaciones energeticas: [https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-19202/Efectos%20de%20las%20RI\\_UCM\\_27%20nov%202014\\_A%20Real\\_pdf.pdf](https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-19202/Efectos%20de%20las%20RI_UCM_27%20nov%202014_A%20Real_pdf.pdf)
- Gil, A. M. (2014). Trastornos hematopoyéticos en trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes. *Medicina y Seguridad en el Trabajo*, 143-160. Obtenido de <http://scielo.isciii.es/pdf/mesetra/v60n234/revision1.pdf>
- IMAGEN DIAGNOSTICA Y ENFERMERIA. (12 de julio de 2012). *Diagnostico Clinico y Enfermeria*. Obtenido de UNIDADES DE RADIOLOGÍA CONVENCIONAL: <http://www.needgoo.com/unidades-de-radiologia-convencional-parte-v/>
- lylat, g. (02 de 09 de 2012). *Aplicaciones de los rayos x en medicina*. Recuperado el 19 de 07 de 2018, de [http://biorayk-12.blogspot.com/2012/09/aplicaciones-de-los-rayos-x\\_2.html](http://biorayk-12.blogspot.com/2012/09/aplicaciones-de-los-rayos-x_2.html)
- NUCLEAR, F. (15 de enero de 2019). *Sector Educativo*. Obtenido de <http://www.rinconeducativo.org/es/recursos-educativos/particulas-alfa-beta-y-gamma-el-gran-descubrimiento-de-rutherford-y-soddy>
- Pérez, M. A. (22 de marzo de 2012). *Centro de Investigaciones Clínicas*. Obtenido de Efecto de las Radiaciones en los Seres Humanos: [https://humanhealth.iaea.org/HHW/NuclearMedicine/Radionuclide\\_Therapy/RadionuclideTherapy/IAEATrainingCoursesandMeetings/RegionalTrainingCourseNicaragua2012/EfectosBiologicos\\_MACoca.pdf](https://humanhealth.iaea.org/HHW/NuclearMedicine/Radionuclide_Therapy/RadionuclideTherapy/IAEATrainingCoursesandMeetings/RegionalTrainingCourseNicaragua2012/EfectosBiologicos_MACoca.pdf)
- Peribañez, J. (04 de 03 de 2014). *Como funcionan los rayos x*. Recuperado el 12 de 07 de 2018, de <http://explicaciones-simples.com/2014/03/04/como-funcionan-los-rayos-x/>
- Radproct, Experiencia y Calidad en Radiaciones*. (12 de julio de 2015). Obtenido de Radproct: <http://radproct.com/accesorios-de-proteccion-radiologica/>
- Sanitas. (2013). *principios basicos de la radiacion*. Obtenido de [http://www.e-sanitas.edu.co/Cursos/radiologia\\_tecnologos/Modulo%203/principios.html](http://www.e-sanitas.edu.co/Cursos/radiologia_tecnologos/Modulo%203/principios.html)

- Segura W, T. D. (2009). RIESGO DE DESARROLLAR CÁNCER DE TIROIDES EN RADIÓLOGOS Y TECNÓLOGOS DE RADIOLOGÍA CON EXPOSICIÓN OCUPACIONAL A RADIACIÓN IONIZANTE. *Revsta Medica Sanitas*, 12, 42-48. Obtenido de <http://www.unisanitas.edu.co/Revista/1/orlando%20segura.pdf>
- Soto, P. (27 de 09 de 2013). *HOSPITAL NISA*. Obtenido de <http://www.invassat.gva.es/documents/161660384/161741789/Valencia+2013+Medicina+Trabajo+Ponencia+02+Soto+Ferrando/8c2b0915-1700-43e6-b214-3f11311646d2>
- SURATEP. (2004). *Programa CISTEMA*. BOGOTA.
- tostado, f. j. (27 de 01 de 2016). *Loa rayos incognita y la primera radiografia humana*. Recuperado el 17 de 07 de 2018, de <https://franciscojaviertostado.com/2016/01/27/los-rayos-incognita-y-la-primera-radiografia-humana/>

# ANEXOS

- **Anexo # 1:**



*Figura 15 Forma correcta de utilizar el chaleco plomado. Fuente: autora*

- **Anexo # 2:**



*Figura 16 Forma incorrecta de utilizar el chaleco plomado. Fuente: autora*

- **Anexo # 3:**



*Figura 17 Forma correcta de utilizar los guantes plomados. Fuente: autora*

- **Anexo # 4:**



*Figura 18 No utilizar guantes plomado. Fuente: autora*

- **Anexo # 5:**



*Figura 19 Forma correcta de utilizar las gafas plomadas. Fuente: autora*

- **Anexo # 6:**



*Figura 20 Forma incorrecta de utilizar las gafas plomadas. Fuente: autora*

- **Anexo # 7:**



*Figura 21 Forma correcta de utilizar el cuello plomado. Fuente: autora*

- **Anexo # 8:**



*Figura 22 No utilizar el cuello plomado. Fuente: autora*

