



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

---

---



**FACULTAD DE ODONTOLOGÍA**

**EFFECTOS BIOLÓGICOS DE LA RADIACIÓN IONIZANTE  
EN EL FETO.**

**T E S I N A**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**C I R U J A N A   D E N T I S T A**

**P R E S E N T A:**

**WENDY EUSTAQUIO FLORES**

**TUTOR: Esp. MARINO CRISPIN AQUINO IGNACIO**

**ASESORA: C.D. VANIA PAMELA RAMÍREZ GUTIÉRREZ**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México por dejarme ser parte de la Facultad de Odontología, por las experiencias y conocimientos adquiridos durante el trayecto de mi carrera profesional.*

*Quiero agradecer a mis padres Adelaida y Quirino por la educación, cariño y apoyo incondicional que me han brindado para lograr esta meta.*

*A mis hermanos Cynthia y Daniel que siempre han estado conmigo y apoyándome con mi formación académica siendo mis “conejillos de india”.*

*Los amo románticos.*

*A mis tíos y tías, abuelitos, primos por todas esas aventuras y momentos de felicidad que hemos pasado.*

*A mis amigos Tbt's de la prepa, mi clau que seguimos el mismo camino de nuestra formación profesional gracias por todos tus consejos y apoyarme siempre los quiero mucho.*

*Juanito, Hermanito (Cristian), amigui Arturo gracias por los momentos que convivimos juntos en la Facultad.*

*Berenice, Ivonne y Erik gracias por los momentos divertidos que pasamos durante el seminario.*

*Irving cruz gracias por todo el amor y apoyo que siempre me brindas.*

*A la Dra. Vania y el Dr. Aquino por el tiempo brindado para la realización de esta tesina.*

*Al Dr. Muzquiz por su dedicación, tiempo y conocimientos en cada una de sus clases en este seminario.*

**MUCHAS GRACIAS**

*“A la cima no se llega superando a los demás sino superándote a ti mismo”*

## INDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>5</b>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>6</b>
<b>CAPITULO 1</b> .....	<b>7</b>
<b>ANTECEDENTES</b> .....	<b>7</b>
1.1 Estructura del átomo. ....	7
1.2 Ionización. ....	7
1.3 Antecedentes Henri Bequerel y esposos Curie .....	9
<b>CAPITULO 2</b> .....	<b>13</b>
<b>DEFINICIÓN DE RADIACIÓN</b> .....	<b>13</b>
2.1 Radiación electromagnética .....	13
2.2 Radiación por partículas .....	15
2.3 Radiación ionizante.....	15
2.3.1Radiación alfa ( $\alpha$ ) .....	16
2.3.2Radiación beta ( $\beta$ ).....	16
2.3.3Radiación gamma ( $\gamma$ ).....	16
2.4 Radiactividad .....	17
2.4.1 Radiactividad natural .....	17
2.4.2 Radiactividad artificial.....	18
<b>CAPITULO 3</b> .....	<b>19</b>
<b>DESARROLLO EMBRIOLÓGICO</b> .....	<b>19</b>
3.1 Primer trimestre semana 1 – 12 .....	19
3.2 Segundo trimestre semana 13 – 26 .....	25
3.3 Tercer trimestre semana 27 etapa final del embarazo .....	26
<b>CAPITULO 4</b> .....	<b>27</b>
<b>EFFECTOS BIOLÓGICOS DE LA RADIACIÓN IONIZANTE</b> .....	<b>27</b>
4.1 Unidades de medida de la radiación.....	27
4.1.1 Dosis absorbida.....	27
4.1.2 Dosis equivalente .....	27
4.1.3 Dosis efectiva.....	28

4.2 Efectos biológicos de la radiación ionizante .....	29
4.2.1 Daño tisular generado por la radiación.....	29
4.2.2 Somáticos .....	30
4.2.3 Hereditarios .....	31
<b>CAPITULO 5 .....</b>	<b>32</b>
<b>EFFECTOS BIOLÓGICOS POR RADIACIÓN IONIZANTE EN EL FETO .....</b>	<b>32</b>
5.1 Periodo de preimplantación.....	32
5.2 Periodo de organogénesis.....	33
5.3 Etapa fetal temprana .....	34
5.4 Etapa fetal tardía .....	34
<b>CAPITULO 6 .....</b>	<b>35</b>
<b>MEDIDAS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA .....</b>	<b>35</b>
6.1 Norma Oficial Mexicana 229 .....	35
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>39</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>40</b>

## INTRODUCCIÓN

La imagenología es un auxiliar de diagnóstico indispensable para la práctica odontológica, sin embargo, se debe tener un control de las dosis de radiación a los pacientes, en particular a pacientes embarazadas en cada radiografía realizada debido a los efectos biológicos de la radiación ionizante.

La radiación ionizante tiene muchas aplicaciones beneficiosas, pero al mismo tiempo perjudiciales para la salud, es importante conocer a detalle los efectos que se pueden llegar a presentar, tanto a nivel tisular como somático y hereditario ya que puede ocasionar la muerte celular y el daño permanente sobre el ADN, ambos efectos están directamente relacionados a la dosis de radiación a la que se expone, por lo cual se debe conocer las magnitudes y unidades utilizadas en protección radiológica que son: la dosis de radiación absorbida (Rad o Gray), la dosis equivalente (Rem o Sievert) y dosis efectiva.

Los efectos biológicos van a depender de ciertos factores como la dosis absorbida y la edad gestacional del feto por tal motivo el propósito de este trabajo es recabar información para determinar cuáles son los efectos que se pueden presentar durante el periodo gestacional cuando una paciente embarazada es sometida a radiación ionizante.

## **OBJETIVO GENERAL:**

Determinar los efectos biológicos ocasionados por la radiación ionizante hacia el feto.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Determinar qué efecto tiene mayor prevalencia por la radiación ionizante.
- Evaluar la dosis de radiación ionizante permitida en los periodos gestacionales.
- Analizar en qué trimestre causa más daño la exposición a la radiación ionizante
- Establecer medidas de protección.

# CAPITULO 1

## ANTECEDENTES

### 1.1 Estructura del átomo.

El átomo es la menor partícula de un elemento que posee sus propiedades químicas. Consta de dos partes: un núcleo y electrones. La composición de su núcleo y el orden de sus electrones determina la identidad de cada átomo.

**Núcleo:** está compuesto por partículas protones (carga positiva) y neutrones (no tienen carga) el núcleo atómico ocupa un espacio muy pequeño.

**Electrones:** pequeñas partículas con carga negativa que se mueven alrededor del núcleo y se les conoce como órbitas<sup>1</sup>.

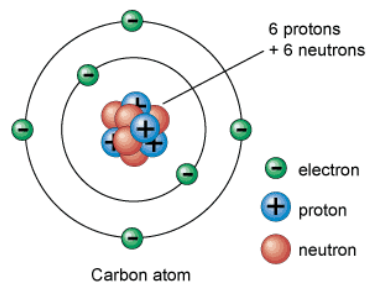


Fig. 1. Estructura del átomo<sup>2</sup>.

Los átomos pueden combinarse entre sí y formar moléculas (partícula que forma dos o más átomos entre sí por enlaces químicos)<sup>1</sup>.

### 1.2 Ionización.

Los átomos pueden estar en estado neutro o eléctricamente desequilibrados. La mayor parte del tiempo se encuentran neutros ya que contiene el mismo número de protones y electrones.



El proceso de desequilibrio donde el átomo trata de captar un electrón de un átomo adyacente se le conoce como **ion**, si el átomo gana el electrón su carga será negativa, pero si el átomo pierde un electrón tendrá carga positiva<sup>1</sup>.

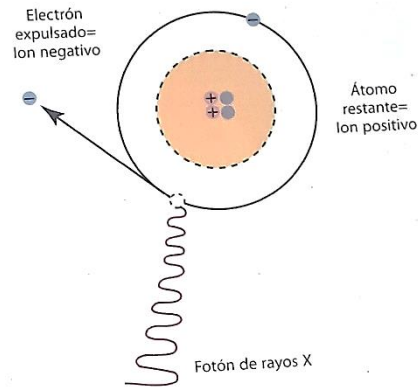


Fig 2. Fenómeno de ionización<sup>1</sup>.

La **ionización** es el proceso de extracción de un electrón de un átomo, mediante el cual se producen iones.

### 1.3 Antecedentes Henri Bequerel y esposos Curie

Antoine – Henri Bequerel

(París, 1852 - Le Croisic, Francia, 1908) Físico francés, descubridor de la radiactividad. Educado en el seno de una familia constituida por varias generaciones de científicos, entre los que destacaron su abuelo, Antoine-César Becquerel, y su padre, Alexandre-Edmond Becquerel, estudió en el Lycée Louis-le-Grand, para ingresar en 1874 en la École des Ponts et Chaussées (Escuela de Caminos y Puentes), donde permaneció durante tres años.

En 1894 fue nombrado jefe de ingeniero del Ministerio francés de Caminos y Puentes.

En la primera actividad en el campo de la experimentación científica investigó fenómenos relacionados con la rotación de la luz polarizada, causada por campos magnéticos.

Posteriormente se dedicó a examinar el espectro resultante de la estimulación de cristales fosforescentes con luz infrarroja.

Tras el descubrimiento a finales de 1895, de los Rayos Röntgen por Wilhelm Röntgen, Bequerel observó que éstos al impactar con un haz de rayos catódicos en un tubo de vidrio al vacío, se tornaban fluorescentes.

Tras el descubrimiento, a finales de 1895 de los rayos x, Becquerel observó que éstos, al impactar con un haz de rayos catódicos, en un tubo de vidrio al vacío, se tornaban fluorescentes. A raíz de esta observación se propuso averiguar si existía una relación fundamental entre los rayos X y la radiación visible, de tal modo que todos los materiales susceptibles de emitir luz, estimulados por cualquier medio, emitían rayos X<sup>5</sup>.

Para comprobar su hipótesis

- Colocó cristales sobre una placa fotográfica envuelta en papel opaco, de tal forma que sólo la radiación, correspondiente a los rayos X,

podiera revelar la emulsión contenida en la placa; previamente excitó los cristales mediante exposición a la luz solar.

- Al cabo de unas horas comprobó que la placa revelaba la silueta perfilada por los cristales. En un experimento posterior, intercalo una moneda entre los cristales y la envoltura opaca; tras unas horas de exposición, verificó que la imagen de la moneda se perfilaba en la placa.



Fig 3. Moneda expuesta en placa fotográfica<sup>4</sup>.

- El 24 de febrero de 1896 informa el resultado del experimento a la Academia de las Ciencias francesa, advirtiéndole en su informe la particular actividad mostrada por los cristales constituidos por sales de uranio.
- Ocho días después comprobó que las sales de uranio eran activas sin necesidad de ser expuestas a una fuente de energética.<sup>5</sup>

## **Esposos Curie**

**Marie Curie** (Varsovia, 1867 cerca de Sallanches, Francia 1934) y **Pierre** (Paris 1859 - 1906).

Matrimonio de químicos franceses. Marie Curie se graduó de la universidad en 1893 y realizó el doctorado diez años más tarde. Poco después de su llegada a Francia conoció al físico francés Pierre Curie, con quien se casó en 1895.

Marie fue profesora de la Escuela Normal Femenina de Sèvres (1900), y luego ayudante de Pierre Curie en su laboratorio a partir de 1904. Al fallecer su marido en su cargo de profesor de la Universidad de la Sorbona, se convirtió en la primera mujer en ocupar un puesto de estas características en Francia.

Pierre Curie licenciado por la Sorbona y doctorado en 1895 por esta misma universidad, había sido nombrado profesor de esta institución en el año 1900. Antes de iniciar su colaboración con Marie, trabajó en el campo de la cristalografía en colaboración con su hermano descubriendo la piezoelectricidad (1880)<sup>5</sup>.

En 1895 comprobó que los cuerpos ferromagnéticos (Hierro, Cobalto, Níquel) se transforman en paramagnéticos (Magnesio, Molibdeno, Litio, Uranio, Platino, Aluminio, Sodio) a partir de una cierta temperatura conocida como "punto de Curie". Determinó la relación entre paramagnetismo y temperatura (ley de Curie) y estableció la diferencia entre paramagnetismo y diamagnetismo (Cobre, Germanio, Bronce, Azufre).

En 1896 inició la colaboración con su esposa en el estudio de la radiactividad, descubierta por el físico Henri Becquerel, trabajo que daría como principal fruto del descubrimiento de la existencia de nuevos elementos, en 1898: el polonio nombre que se le dio en recuerdo de la patria de Marie, y el radio. Para obtener un solo gramo de radio puro el matrimonio tuvo que tratar ocho toneladas del mineral conocido como pechblenda. A partir de entonces, Marie se concentró en la obtención de radio metálico, el

cual logró con la ayuda de A. Debierne, mientras que Pierre estudió las propiedades químicas, fisiológicas y luminosas de las emisiones radiactivas, que se clasifican según su carga, en positivas (rayos alfa), neutras (rayos gamma) y negativas (rayos beta). Tras el fallecimiento de Pierre, Marie continuó con los trabajos y fundó el Instituto del radio (1914) donde llevó a cabo un profundo estudio de las aplicaciones de los rayos Röntgen y de la radiactividad en campos como la medicina, y consiguió la obtención de numerosas sustancias radiactivas.

Los esposos Curie fueron galardonados en 1903 junto a H. Becquerel, con el Premio Nobel de Física por el descubrimiento de la radiactividad. Ocho más tarde Marie recibió el Premio Nobel de Química en reconocimiento por los trabajos que le permitieron aislar el radio metálico.<sup>5</sup>

## CAPITULO 2

### DEFINICIÓN DE RADIACIÓN

La radiación es la emisión y propagación de energía en cualquier medio en forma de ondas electromagnéticas o partículas. Los seres humanos estamos expuestos a la radiación desde su origen, sin la radiación del sol no habría existido vida en la tierra y sin la radiación infrarroja no podríamos calentarnos. Además de estas fuentes naturales de radiación, el ser humano ha sido capaz de desarrollar distintos aparatos que la emiten como el radio, el celular, el microondas, el tostador y los rayos X. Cuanto mayor es la frecuencia de la radiación electromagnética, mayor será su energía. Las ondas o radiaciones electromagnéticas se pueden clasificar en función de su energía en radiaciones ionizantes, tienen energía suficiente para producir la ionización de los átomos de la materia que atraviesan (ej.: rayos X). Las radiaciones que se presentan en forma de partículas con masa (ej.: radiación alfa) están incluidas dentro de las radiaciones ionizantes, pues en todos los casos son capaces de producir la ionización<sup>20</sup>.

#### 2.1 Radiación electromagnética

La radiación electromagnética se le llama así porque la energía se propaga y se acompaña de campos eléctricos y magnéticos oscilatorios.

Esta energía propagada en forma de ondas electromagnéticas es provocada por el hombre o se produce de forma natural, donde incluye a los rayos cósmicos, rayos gamma, Rayos X, rayos ultravioletas, luz visible, luz infrarroja, las ondas de radar, microondas y ondas radioeléctricas, se le conoce como *radiación electromagnética*.

Dependiendo de sus niveles de energía, las radiaciones electromagnéticas se pueden clasificar como ionizantes o no ionizantes. Las únicas que pueden ionizarse son (rayos cósmicos, rayos gamma y Rayos X)<sup>1</sup>.

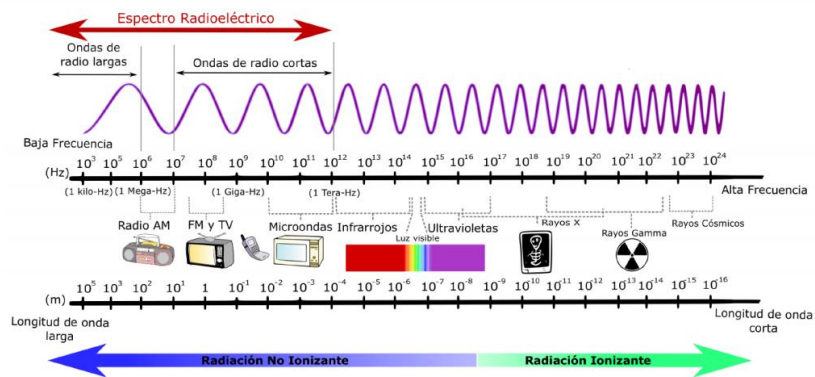


Fig 4. Espectro electromagnético<sup>7</sup>.

Las radiaciones electromagnéticas se mueven en el espacio como onda, por lo tanto, se deben tomar en cuenta dos conceptos:

**Concepto de onda:** se caracteriza por radiaciones electromagnéticas en onda que tiene las propiedades de velocidad, longitud de onda y frecuencia.

- **Velocidad:** radiación electromagnética que viaja a la velocidad de la luz en el vacío ( $3 \times 10^8$  metros por segundo).
- **Longitud de onda:** distancia entre la cresta de una onda y la cresta de la siguiente; es decir a mayor longitud de onda, menor energía y a menor longitud de onda, mayor energía<sup>1</sup>.

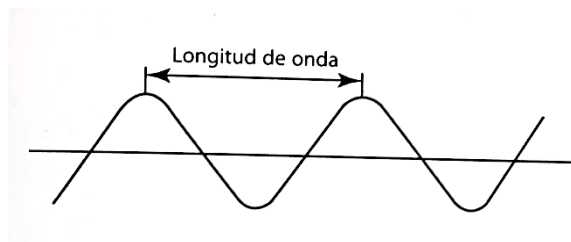


Fig 5 Longitud de onda<sup>1</sup>.

- **Frecuencia:** número de longitudes de onda que pasan por cierta cantidad de tiempo. Si la frecuencia de onda es alta, la longitud de onda será corta, y si la frecuencia de onda es baja, la longitud de onda será larga<sup>1</sup>.

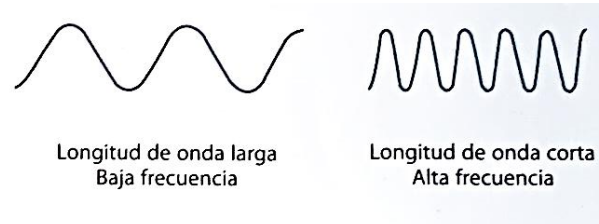


Fig 6 Frecuencia de la longitud de onda<sup>1</sup>.

## 2.2 Radiación por partículas

Partículas diminutas de materia que poseen masa y viajan en línea recta a altas velocidades. Esta radiación transmite energía cinética.

Existen algunos tipos de partículas que componen la radiación:

- **Beta** electrones rápidos emitidos desde el núcleo de los átomos radioactivos.
- **Rayos catódicos** corriente de electrones de alta velocidad que se originan en un tubo de Rayos Röntgen.
- **Partículas alfa** emitidas por los núcleos de metales pesados (constituido por dos protones y neutrones)<sup>1</sup>.

## 2.3 Radiación ionizante

La ionización es la producción de iones, o el proceso de convertir un átomo en iones. Por lo cual solo usa electrones y requiere de suficiente energía para superar la fuerza electrostática que une el electrón al núcleo. Cuando un electrón se elimina de un átomo en el proceso de ionización, se producen un ion par. El átomo se convierte en el ion positivo, y el electrón expulsado se convierte en el ion negativo. Este par de iones reacciona con otros iones hasta estabilizarse eléctricamente y se forman átomos neutros<sup>1</sup>.



### **2.3.1 Radiación alfa ( $\alpha$ )**

Núcleos de helio doblemente ionizados de alta velocidad, constituidos por dos protones y dos neutrones, es el resultado de la descomposición de elementos radiactivos. Las características de estas partículas son muy pesadas y tienen carga doble positiva. Ceden rápidamente su energía y solo penetran unas pocas micras en los tejidos corporales<sup>6</sup>.

### **2.3.2 Radiación beta ( $\beta$ )**

Son electrones de alta velocidad penetran la materia en mayor medida hasta 1.5cm en los tejidos. Esta penetración se debe a que las partículas beta son más pequeñas, ligeras y transportan una sola carga negativa, de modo que tienen una probabilidad mucho menor de interactuar con la materia de las partículas alfa<sup>6</sup>.

### **2.3.3 Radiación gamma ( $\gamma$ )**

La emisión de radiación alfa y beta está asociada a la emisión de radiación gamma ya que su origen en el núcleo emite una partícula alfa o beta, el núcleo tiene un exceso de energía, que es eliminado en ondas electromagnéticas de alta frecuencia.

Los rayos gamma no tienen carga ni masa por lo tanto la emisión de los rayos por parte de un núcleo no conlleva cambios en su estructura, interaccionan con la materia colisionando con las capas electrónicas de los átomos con los que cruzan provocando la pérdida de una determinada cantidad de energía radiante con lo cual pueden atravesar grandes distancias. Para detenerlas es necesaria una capa gruesa de Plomo.

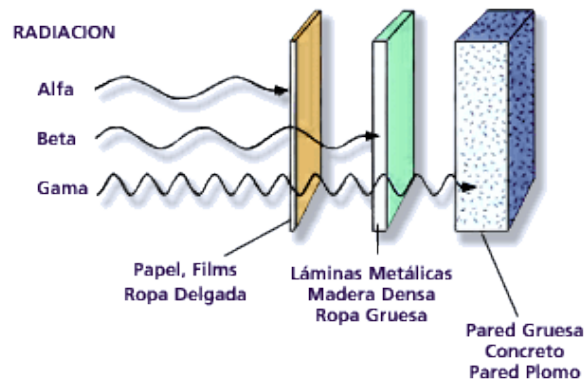


Fig 7 Tipos de radiación y poder de penetración<sup>8</sup>.

## 2.4 Radiactividad

Fenómeno que consiste en la desintegración espontánea de los núcleos atómicos, acompañado de emisión de partículas o radiaciones electromagnéticas<sup>9</sup>.

### 2.4.1 Radiactividad natural

Las radiaciones ionizantes de origen natural están presentes en la naturaleza que nos rodea. Además de la radiación cósmica, se producen radiaciones ionizantes como consecuencia de la presencia de materiales radiactivos existentes en la corteza terrestre. Tres cuartas partes de la radiactividad que hay en el medio ambiente proceden de los elementos naturales. Como el gas radón, este gas se produce como consecuencia de la desintegración del uranio que contienen las rocas y se concentra en los lugares cerrados<sup>10</sup>.

La radiación cósmica se genera en las reacciones nucleares que ocurren en el interior del sol y las estrellas. La atmósfera filtra estos rayos y nos protege de sus efectos peligrosos, ya que fuera de la atmósfera, en el espacio, la radiactividad es mucho mayor.

También existen elementos radiactivos en múltiples alimentos (potasio-40, carbono-14 y tritio.) y en el agua potable. La radiación, en los niveles a los que estamos expuestos, no es dañina, sino que resulta indispensable para la vida<sup>10</sup>.

#### **2.4.2 Radiactividad artificial**

Los seres humanos con los avances tecnológicos han aportado un número de fuentes de radiación al medio ambiente. Tales fuentes se clasifican en:

- Diagnóstico y tratamiento médico: diferentes estudios demuestran que la radiación usada con fines terapéuticos es el componente más grande de la radiactividad artificial ya que incluye radioterapia y exposición a rayos x como medios de diagnóstico.
- Fuentes artificiales: entre las fuentes de esta categoría se encuentra la energía nuclear<sup>17</sup>.

## CAPITULO 3

### DESARROLLO EMBRIOLÓGICO

El desarrollo embriológico es el periodo en que se forma el feto desde la fecundación hasta el parto, y durante cada trimestre se desarrollara un proceso constante de cambios morfológicos, estructurales y funcionales.

#### 3.1 Primer trimestre semana 1 – 12

##### Fecundación:

Proceso por el cual se fusionan el espermatozoide y el ovocito, se lleva a cabo en la trompa de Falopio formando él cigoto.

Las fases de la fecundación son:

- Fase 1 penetración de la corona radiada
- Fase 2 penetración de la zona pelúcida
- Fase 3 fusión entre la membrana celular del ovocito y espermatozoide<sup>12</sup>.

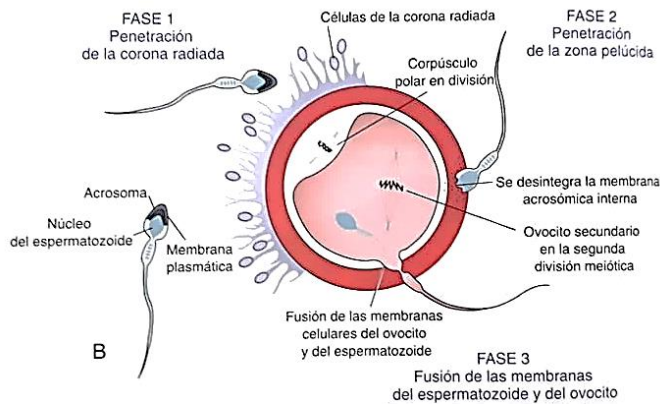


Fig 8. Fases de la fecundación<sup>12</sup>.

## Segmentación

Durante esta etapa el cigoto presenta una serie de divisiones mitóticas que aumentan la gran cantidad de células, y estas se vuelven cada vez más pequeñas con cada segmentación denominadas blastómeros.

Después de 3 días de la fecundación las células del embrión compactado se dividen para formar una mórula de 16 células.

La masa celular interna da origen a los tejidos del embrión y la masa celular externa da origen al trofoblasto que más adelante formara la placenta<sup>12</sup>.



Fig 9 Desarrollo del cigoto<sup>12</sup>.

### Gastrulación:

La gastrulación comienza con la aparición de la línea primitiva cuyo extremo cefálico es el nódulo primitivo. En la región del nódulo y de la línea de células epiblasticas se invaginan para constituir las capas celulares. Una vez invaginadas las células algunas de ellas desplazan el hipoblasto y forma el *endodermo*; otras se sitúan en el epiblasto y el endodermo y forman el *mesodermo* y las células que quedan en el epiblasto constituyen el *ectodermo*. De este modo el epiblasto mediante el proceso de gastrulación da origen a las capas germinativas, las células en que ellas generan los tejidos y órganos del embrión<sup>12</sup>. (Figs. 10 y 11)

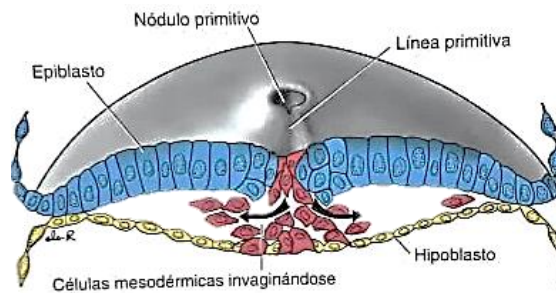


Fig 10 Células en la línea primitiva desprendiéndose<sup>12</sup>.

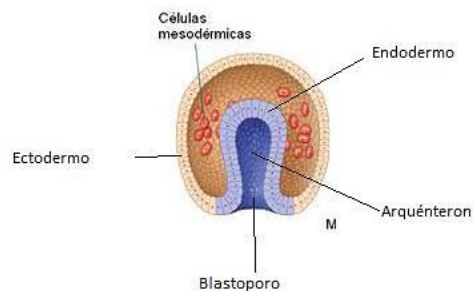


Fig 11 Capas germinativas<sup>13</sup>.

## **Organogénesis**

Su periodo es de la tercera a la octava semana del desarrollo donde las tres capas germinales: ectodermo, mesodermo, endodermo. Dan origen a tejidos y órganos<sup>12</sup>.

Órganos derivados de la capa germinal ectodérmica:

Al inicio de la tercera semana de desarrollo esta capa y da origen a los siguientes órganos:

- Sistema nervioso central
- Sistema nervioso periférico
- Epitelio sensorial de las orejas, nariz y ojos
- Epidermis incluidos pelo y uñas
- Hipófisis, glándulas mamarias y subcutáneas, esmalte de los dientes.

Órganos derivados de la capa germinal mesodérmica:

- Sistema vascular (corazón, arterias, venas, vasos linfáticos, hematocitos y linfocitos)
- Sistema urogenital (excepto la vejiga)
- Bazo y corteza de las glándulas suprarrenales.

Órganos derivados de la capa germinal endodérmica:

- Revestimiento epitelial del tubo gástrico
- Aparato respiratorio
- Vejiga
- Parénquima de la glándula tiroidea, paratiroidea, hígado y páncreas.

Durante la cuarta semana de desarrollo se forman los arcos faríngeos dando origen a las siguientes estructuras:

- Primer arco faríngeo: se compone de una porción dorsal (apófisis maxilar superior) y una porción ventral (apófisis maxilar inferior) que contiene el cartílago de Meckel, este cartílago desaparece excepto dos partes pequeñas en el extremo dorsal que formara el yunque y el martillo. En el mesénquima de la apófisis maxilar superior se origina el premaxilar superior, maxilar superior, hueso cigomático, hueso temporal.

La musculatura del primer arco faríngeo abarca los músculos de la masticación (temporal, masetero, pterigoideo), vientre anterior del digástrico, milohioideo, tensor del tímpano, tensor del velo del paladar<sup>12</sup>.

- Segundo arco faríngeo: también se le llama arco hioideo (cartílago de Reichert) da origen a las estructuras: estribo, apófisis estiloides del hueso temporal, ligamento estilohioideo y en la parte ventral al asta menor y la parte superior del cuerpo del hueso hioides. Los músculos del arco hioideo son el músculo del estribo, estilohioideo, vientre posterior del digástrico, musculo auricular y músculos de la expresión facial<sup>12</sup>.
- Tercer arco faríngeo: el cartílago de este arco faríngeo produce la parte inferior del cuerpo y al asta mayor del hueso hioides. La musculatura se compone de los músculos estilofaríngeos<sup>12</sup>.
- Cuarto y sexto arco faríngeo: los componentes cartilagosos de este arco se fusionan para formar los cartílagos tiroideos, cricoides, aritenoides, corniculado y cuneiforme de la laringe. Los músculos cricotiroideos, elevador del velo del paladar, y constrictores de la faringe<sup>12</sup>.



Bolsas faríngeas: el embrión consta de cuatro pares de bolsas faríngeas, la quinta es rudimentaria

- Primera bolsa faríngea: cavidad timpánica (oído medio), conducto auditivo (trompa de Eustaquio), membrana timpánica o tímpano.
- Segunda bolsa faríngea: amígdala palatina y fosa palatina.
- Tercera bolsa faríngea: glándula paratiroidea inferior y timo.
- Cuarta bolsa faríngea: glándula paratiroidea superior y cuerpo ultimobranquial (células parafoliculares de la glándula Tiroidea)<sup>12</sup>.

Las hendiduras faríngeas se desarrolla solo una estructura: conducto auditivo externo<sup>12</sup>.

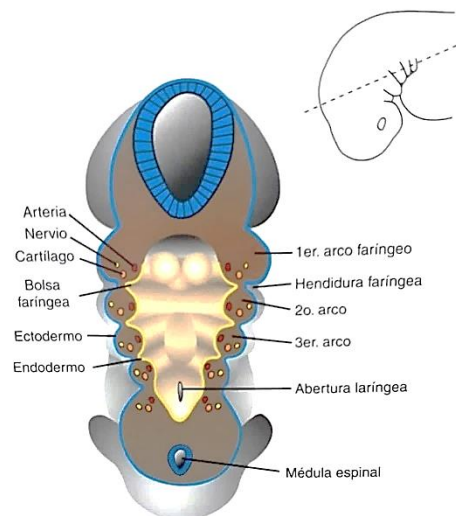


Fig 12 Arcos faríngeos<sup>12</sup>.

### **3.2 Segundo trimestre semana 13 – 26**

En el cuarto y quinto mes. Su longitud cefalocaudal mide unos 15cm cerca de la mitad de la longitud total del recién nacido. El feto está cubierto por un vello fino llamado lanugo. También se distingue el pelo de las cejas y de la cabeza.

A la semana 16 el feto deglute y presenta movimientos respiratorios ha comenzado a crecer la cabeza y el cuerpo son de tamaños proporcionales.

Entre las semanas 18 y 21 la madre puede sentir los movimientos del bebé, las uñas están bien formadas el bebé comienza a oír.

En la semana 22 el lanugo ya se ha extendido a todo el cuerpo del feto, apareciendo también las cejas y las pestañas. El bebé también hace su primera deposición, llamada meconio, la cual expulsa por el tracto intestinal. El movimiento también sigue siendo activo, desarrollando ahora los músculos y pudiendo escuchar los latidos de su corazón.

Al final de esta etapa, se desarrollan las vías respiratorias del bebé y la médula ósea comienza a producir células sanguíneas<sup>14</sup>.

### **3.3 Tercer trimestre semana 27 etapa final del embarazo**

El bebé comienza a terminar de desarrollar diferentes partes de su cuerpo. Los pulmones alcanzan un alto grado de funcionamiento, aunque no el necesario para sobrevivir fuera del útero. El feto además es capaz de oír ruidos del exterior. Entre las semanas 27 y 30 el bebé vuelve a abrir los párpados, y el sistema nervioso se desarrolla, sobre todo en el cerebro. El sistema respiratorio comienza a producir agente tensioactivo, que hace que los alveolos puedan llenarse de aire cuando nazca. El tamaño del feto para la semana 28 ya ocupa la mayor parte del útero, y se suele posicionar de forma invertida, de forma que tenga más facilidad para mover las rodillas y los pies<sup>14</sup>.

A partir de la semana 31 el bebé comienza a retener hierro, calcio y fósforo en su organismo, lo que impulsa aún más el desarrollo del cuerpo. Los huesos ya están completamente formados, aunque aún blandos. El sistema respiratorio también continúa su desarrollo, pero los pulmones aún no son lo suficientemente maduros.

Para la semana 35 el bebé ya pesa cerca de 2.5 kilos, y su corazón y vasos sanguíneos ya se han formado por completo, como también lo están los músculos y los huesos.

En las últimas semanas, entre la 38 y la 40, desaparece el lanugo excepto de hombros y brazos, siendo el cabello desarrollado en la cabeza además más grueso y resistente.

A partir de la semana 40 se considera que el embrión está desarrollado por completo y listo para nacer, variando la fecha en que ocurre<sup>14</sup>.

## CAPITULO 4

### EFFECTOS BIOLÓGICOS DE LA RADIACIÓN IONIZANTE

Los efectos biológicos de la radiación ionizante se pueden presentar, dependiendo de la cantidad de radiación absorbida y de la radiosensibilidad de las células. Por consiguiente, se describirán las unidades de medida más utilizadas en radiología para cuantificar la dosis absorbida (Gy o rad), dosis equivalente (Sv o rem) y la dosis efectiva.

#### 4.1 Unidades de medida de la radiación

##### 4.1.1 Dosis absorbida

Es una medida de la cantidad de energía absorbida del haz de radiación por unidad de masa de tejido. Su unidad es el Joule/kg unidad a la que se le da el nombre de Gray (Gy) y su subunidad equivale a miligray (mGy) y microgray ( $\mu$ Gy). Anteriormente se utilizaba el rad (1 Gy= 100 rads)<sup>1</sup>.

##### 4.1.2 Dosis equivalente

La dosis equivalente ( $H_T$ ) Se utiliza para comparar los efectos biológicos de diferentes tipos de radiación. El daño biológico producido por las radiaciones depende de varios factores, de la dosis absorbida y el tipo de radiación.

Esta medida se obtiene al introducir un valor numérico denominado *factor de ponderación de radiación* ( $W_R$ ) que representa los efectos biológicos de las radiaciones (rayos x y gamma tienen un valor de 1, neutrones y protones 10 y partículas alfa 20)<sup>3</sup>.

La unidad de dosis equivalente ( $H_T$ ) proporciona una unidad común que permite realizar comparaciones entre un tipo de radiación y otro; su unidad es el Sievert (Sv) y su subunidad milisievert (mSv) y microsievert ( $\mu$ Sv). Anteriormente se utilizaba el rem, donde 1 Sv es igual a 100rem<sup>1</sup>.

### 4.1.3 Dosis efectiva

Esta medida permite comparar dosis de distintas partes del cuerpo convirtiéndolas en una dosis equivalente para todo el cuerpo. La aparición de los efectos biológicos en un órgano o tejido depende no solo de la dosis equivalente recibida sino también de su radiosensibilidad.

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR) ha asignado a cada tejido un valor conocido como factor de ponderación de tejido ( $W_T$ ) es decir el riesgo de que el tejido resulte dañado por la radiación, cuanto más alto sea el riesgo mayor es el factor de ponderación<sup>3</sup>.

Coefficientes de radiosensibilidad  
según los diferentes órganos y tejidos

Tejido/órgano	$W_T$
Mama	0,12
Médula ósea roja	0,12
Colon	0,12
Pulmón	0,12
Estómago	0,12
Gónadas	0,08
Tiroides	0,04
Vejiga	0,04
Hígado	0,04
Esófago	0,04
Piel	0,01
Cerebro	0,01
Superficie ósea	0,01
Glándulas salivales	0,01
Resto del organismo	0,12

Fig 13 Factores de ponderación de tejido ( $W_T$ )<sup>15</sup>.

### 4.1.3.1 Dosis efectiva de procedimientos radiológicos.

	Dosis efectiva (mSv)	Cantidad equivalente de placas de tórax
<i>Tipo de estudio</i>		
Radiografía de extremidades	< 0,01	< 0,5
Radiografía de tórax PA	0,02	1
Radiografía de cráneo	0,07	3,5
Radiografía de cadera	0,3	15
Radiografía de columna dorsal	0,7	35
Radiografía de columna lumbar	1,3	65
Radiografía de pelvis	0,7	35
Radiografía de abdomen	1,0	50
Esofagograma	1,5	75
Urograma excretor	2,5	125
Esófago-gastro-duodenal	3	150
Tránsito intestinal	3	150
Colon por enema	7	350
<i>Medicina nuclear</i>		
TC de cabeza	2,3	115
TC de tórax	8	400
TC de abdomen o pelvis	10	500
<i>Medicina nuclear</i>		
Ventilación pulmonar (Xe-133)	0,3	15
Perfusión pulmonar (Tc-99m)	1	50
Renal (Tc-99m)	1	50
Tiroidea (Tc-99m)	1	50

mSV: sievert; PA: posteroanterior; TC: tomografía computada.

Fig 14 Dosis efectivas para los estudios de rayos X comunes<sup>15</sup>.

## 4.2 Efectos biológicos de la radiación ionizante

### 4.2.1 Daño tisular generado por la radiación

La acción de la radiación en las células, y el daño producido en ellas se clasifica en:

- Acción o daño directo: producido por la ionización de macromoléculas, donde los rayos x interactúan directamente con el ADN. Esta ionización en las macromoléculas produce un rompimiento en sus enlaces químicos. Entre los efectos cromosómicos que se pueden presentar después del daño directo son<sup>3</sup>:

- Dificultad para transmitir información
  - Replicación anormal
  - Muerte de la célula
- Acción o daño indirecto: ionización de la molécula de agua para producir radicales libres que pueden combinarse para dañar las macromoléculas como el ADN<sup>3</sup>.

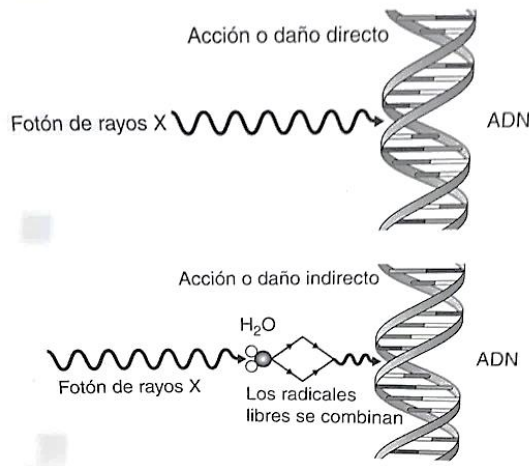


Fig 15 Diagrama que muestra la acción y efectos dañinos de la radiación en las células<sup>3</sup>.

#### 4.2.2 Somáticos

Las células somáticas son todas aquellas que forman al cuerpo, excepto las células de reproducción.

Los principales efectos somáticos de la exposición a la radiación son: cáncer, leucemia y cataratas.

Los efectos somáticos se clasifican en agudos y crónicos.

- *Efectos agudos:* Aparecen en un periodo de horas o pocos días de radiación aguda y la severidad depende de la dosis.
- *Efectos crónicos:* aparecen debido a bajas dosis de radiación durante periodos largos de tiempo o irradiación crónica<sup>11</sup>.

### **4.2.3 Hereditarios**

No se observan en la persona que ha sido expuesta a radiación, si no que se manifiestan en las generaciones siguientes. La radiación en los órganos reproductores puede dañar el ADN, aunque no hay una certeza de que suceda dichos efectos.

#### **4.2.3.1 Efecto estocástico**

Son efectos aleatorios que pueden aparecer tras la exposición a pequeñas dosis de radiación ionizante y la probabilidad aumenta al incrementarse la cantidad de radiación absorbida. No necesita una dosis umbral (dosis de radiación ionizante de la cual se producen los efectos biológicos) determinada para producirlos<sup>11</sup>.

#### **4.2.3.2 Efecto no estocástico (deterministas)**

Se necesita una dosis umbral para producirlos, aunque tiene una probabilidad baja de aparición de los efectos, suelen ser efectos precoces<sup>11</sup>.



## CAPITULO 5

### EFFECTOS BIOLÓGICOS POR RADIACIÓN IONIZANTE EN ÉL FETO

En la práctica odontológica es necesario exponer a radiación ionizante a mujeres embarazadas, ya que en ocasiones acuden a la consulta por alguna infección o dolor dental y es necesario un estudio radiológico para un diagnóstico. En algunos casos surge la preocupación por la cantidad de radiación que recibe el feto y los efectos que esta exposición puede ocasionar en el periodo de preimplantación, organogénesis, fetal temprana y fetal tardía.

Los efectos mencionados a continuación fueron basados en estudios experimentales en animales y personas expuestas a las bombas atómicas en Japón o la planta nuclear de Chernobil.

#### 5.1 Periodo de preimplantación.

En los primeros 14 días posconcepción el efecto con mayor prevalencia es el fallo en la implantación del embrión o un aborto prematuro, o que la exposición no tenga ninguna consecuencia. Esto no quiere decir que las malformaciones no puedan presentarse, sino que, si las anomalías y las malformaciones se producen, tienen una alta incidencia de mortalidad. Estos resultados se basan en estudios en animales, ya que no hay estudios realizados en humanos que lo confirmen. Las malformaciones observadas en estos estudios en animales se han limitado a un pequeño número de anomalías como: Exencefalia (malformación en la cual el cerebro está situado fuera del cráneo), Polidactilia (anomalía congénita caracterizada por la existencia de dedos supernumerarios o bífidos), Gastrosquisis (malformación congénita caracterizada por una hernia visceral a través de un defecto de la pared abdominal, generalmente del lado derecho, con la presencia del cordón umbilical intacto y no cubierto por la membrana).

Que también se producen espontáneamente en las especies estudiadas y se han atribuido más a un efecto de predisposición genética que a un clásico efecto teratógeno (agente que produce malformaciones en el embrión o feto). A partir de estos estudios en animales se ha estimado que la dosis mínima letal para embriones humanos es de 10 rad (0,1 Gy)<sup>16</sup>. El equivalente a 0.1Gy es igual a 100mGy, Esto quiere decir, para que se presente un daño letal en los embriones nisiquiera una radiografía dentoalveolar podría causar daño al feto tomando en cuenta que la dosis de entrada de una radiografía dentoalveolar equivale a 7mGy<sup>19</sup>.

La dosis efectiva en un examen completo (14 radiografías) equivale a 21 mSv. Y en promedio una radiografía panorámica expone al paciente a una dosis de 2,7 a 24,3  $\mu$ Sv<sup>21</sup>.

## **5.2 Periodo de organogénesis**

De la segunda a la octava semana el embrión es más sensible a los efectos. La dosis estimada en humanos a partir de la cual podrían producirse malformaciones en los órganos fetales es de 0,1 Gy (100 mGy), pudiendo ocurrir malformaciones a partir de 0,2 Gy (200 mGy). Se han descrito anomalías esqueléticas, hipoplasia de genitales y anomalías oculares (cataratas, degeneración retiniana, atrofia óptica) con exposiciones superiores a 1 Gy. No obstante, la anomalía más característica es la microcefalia, con o sin retraso mental. El sistema nervioso central (SNC) es especialmente radiosensible entre las 8 y 15 semanas, cuando presenta una importante actividad mitótica (células que se multiplican o reproducen), y la dosis umbral en este período para producir microcefalia se estima en 20 Gy o más, y en 0,06-0,31 Gy para el retraso mental. Los datos procedentes de los supervivientes de la bomba atómica indican que durante este período el riesgo de retraso mental grave por encima de la exposición a 0,1 Gy es del 40% por cada gray. No se notificaron casos de retraso mental en

exposiciones menores a 1 Gy ocurridas antes de las 8 semanas o después de las 25<sup>16</sup>.

### **5.3 Etapa fetal temprana**

Abarca el segundo trimestre de gestación. Los estudios realizados en los sobrevivientes de Hiroshima demuestran que el efecto más importante detectado es el retraso mental. La dosis umbral, por debajo de la cual no se manifiesta este efecto está comprendida entre los 120 a 200 mSv (12 a 20 rem)<sup>18</sup>.

### **5.4 Etapa fetal tardía**

En el último trimestre no se espera una mayor incidencia de malformaciones o retraso mental a causa de la radiación. Sin embargo, existiría la probabilidad de desarrollar cáncer en los próximos años. Este hecho ha sido estudiado encontrándose que a dosis menores de 100 mGy (10 rads) puede haber la probabilidad de desarrollar cáncer o malformaciones<sup>18</sup>.

El riesgo de cáncer en los niños expuestos intraútero a las radiaciones, se considera que es un fenómeno estocástico y que no hay una dosis umbral, aunque a medida que aumenta la dosis equivalente se incrementa la probabilidad de que aparezca este efecto<sup>16</sup>.

## CAPITULO 6

### MEDIDAS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

La protección radiológica es una herramienta para el manejo de las medidas de atención de la salud contra los riesgos generados por el uso de radiación ionizante tanto para el personal ocupacionalmente expuesto como el paciente, los objetivos de la protección y seguridad radiológicas es: evitar y limitar los efectos.

#### 6.1 Norma Oficial Mexicana 229

La norma oficial mexicana 229 establece los criterios de diseño, construcción y conservación de las instalaciones fijas y móviles, los requisitos técnicos para la adquisición y vigilancia del funcionamiento de los equipos de diagnóstico médico con rayos X, los requisitos sanitarios, criterios y requisitos de protección radiológica que deben cumplir los Titulares, Responsables, Asesores Especializados en Seguridad Radiológica en establecimientos para diagnóstico médico que utilicen equipos generadores de radiación ionizante (rayos X) para su aplicación en seres humanos, con el fin de garantizar la protección a pacientes, personal ocupacionalmente expuesto y público en general<sup>19</sup>.

#### Limites de dosis

**16.1** Las dosis de rayos X que reciban el POE y el público, con motivo de la operación de los establecimientos de diagnóstico médico con rayos X, deben mantenerse tan bajas como razonablemente pueda lograrse y estar siempre por debajo de los límites establecidos en los ordenamientos legales aplicables.

**16.1.1** Para el POE, el límite del equivalente de dosis efectiva anual (HE, L) para los efectos estocásticos es de 50 mSv (5 rem). Para los efectos deterministas (o no estocásticos) es de 500 mSv (50 rem) independientemente de si los tejidos son irradiados en forma aislada o

conjuntamente con otros órganos. Este límite no se aplica al cristalino, para el cual se establece un límite de 150 mSv (15 rem).

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

**16.1.3** Los límites anuales de equivalente de dosis para individuos del público para efectos estocásticos es de 5 mSv (0.5 rem) y para los efectos deterministas (no estocásticos) es de 50 mSv (5 rem). Estos límites de dosis se aplican al grupo crítico de la población, o al individuo más expuesto.

**16.2** Los límites establecidos no se aplican a los pacientes sometidos a estudios radiológicos.

**16.3** Ninguna persona menor de 18 años puede formar parte del POE<sup>19</sup>.

## **17. Protección del POE**

**17.2** El médico radiólogo, el técnico radiólogo, médicos especialistas, enfermeras y demás participantes en intervencionismo deben usar los dispositivos de protección con que cuenta el equipo de rayos X para atenuar la radiación dispersa (cortinillas plomadas, marco plomado alrededor de la pantalla, placas de plástico plomado, mamparas, filtros compensadores, entre otros), durante la realización de los estudios radiológicos, emplear el colimador apropiado para obtener el haz mínimo necesario y utilizar la tensión adecuada.

**17.4** Los dispositivos mínimos indispensables de protección radiológica por cada departamento de radiología se establecen de acuerdo con el tipo de estudio a realizar, el POE debe utilizar dichos dispositivos, los cuales deben contar con las siguientes características:

**17.4.1** Mandil con espesor equivalente de al menos 0.5 mm de plomo cuando cubra solamente el frente del cuerpo, o mandil de al menos 0.25 mm cuando cubra completamente el frente, los costados del tórax y pelvis.

**17.4.2** Guantes de compresión con espesor equivalente a al menos 0.5 mm de plomo

**17.4.3** Guantes para intervención con espesor equivalente de al menos 0.25 mm de plomo

**17.4.4** Collarín para protección de tiroides con espesor equivalente de al menos 0.5 mm de plomo

**17.4.5** Anteojos para protección del cristalino, con cristales de espesor equivalente de al menos 0.2 mm de plomo<sup>19</sup>.

## **18. Protección del paciente**

**18.1** Sólo bajo prescripción médica se podrá exponer a un ser humano a las radiaciones producidas por un equipo de rayos X y nunca por decisiones de carácter administrativo o de rutina. Se prohíbe la radiografía corporal total (ninograma).

**18.2** El médico radiólogo y el técnico radiólogo son responsables de que en cada estudio se utilice el equipo adecuado para la protección radiológica del paciente, se procure que la exposición del paciente sea la mínima indispensable y se evite la repetición innecesaria de estudios radiológicos.

**18.3** Debe existir un manual de procedimientos técnicos autorizado conjuntamente por el titular y el responsable de la operación y funcionamiento, que explique la forma de realizar cada una de las técnicas de exploración radiológica que se utilicen en el establecimiento de acuerdo a las características del equipo de rayos X, procesador de películas, tipo de películas, tipo de pantallas intensificadoras y tomando en cuenta el espesor del paciente. La elaboración del manual puede tener como guía los niveles orientativos de esta norma. Durante la realización de los estudios radiológicos, el operador (médico radiólogo o técnico radiólogo) debe

apegarse a lo indicado en dicho manual. El contenido del manual debe actualizarse cuando el avance tecnológico, el cambio de equipo o el cambio de procedimientos lo amerite<sup>19</sup>.

**18.18** Cuando el paciente sea una mujer con capacidad reproductora, el médico radiólogo y el técnico radiólogo deben investigar la posibilidad de embarazo. En caso de duda se deben aplicar las medidas de protección radiológica a embarazadas establecidas en el manual de procedimientos técnicos.

**18.19** Cuando una mujer embarazada requiera un estudio radiológico, el médico radiólogo debe sugerir al médico solicitante la aplicación de una técnica alternativa que no implique exposición a la radiación. De ser necesario el estudio radiológico, se deben usar las medidas de protección aplicables a fin de que el feto reciba la mínima radiación posible.

**18.22** En todo establecimiento debe disponerse al menos de los siguientes dispositivos para la protección de órganos del paciente:

**18.22.1** Mandiles plomados.

**18.22.2** Blindajes para gónadas (tipo sombra o de contacto) excepto para mamografía.

**18.22.3** Collarín para protección de tiroides excepto para mamografía<sup>19</sup>.

Anteriormente se mencionaron los límites de dosis y medios de protección que marca la Norma Oficial Mexicana NOM-229-SSA1-2002 que se deben tomar en cuenta para evitar y limitar los efectos biológicos que se puedan llegar a presentar cuando estamos presentes en un espacio que emita radiación ionizante.

## CONCLUSIONES

Se establece que la Radiación ionizante si tiene efectos biológicos, pero particularmente en el feto se puede concluir con base a la dosis de radiación de una radiografía dentoalveolar, serie radiográfica y panorámica es inofensiva para el feto, ya que se encuentra por debajo de la dosis requerida para producir un efecto estocástico. Sin embargo, considerando los lineamientos de la Norma Oficial mexicana NOM-229-SSA1-2002 es necesario proteger a la mujer embarazada con ciertas medidas y evaluar si es necesaria la radiografía o no.

Para que se presente un efecto biológico al feto dada la evidencia sugiere que la dosis estimada a partir de la cual podrían producirse malformaciones en los órganos fetales es de 0,1 Gy (100 mGy) haciendo la comparación con una radiografía dentoalveolar su dosis de entrada de radiación equivale a 7mGy eso quiere decir que ni una radiografía dentoalveolar causa un daño letal al feto.

Es importante que como odontólogos conozcamos la Norma Oficial Mexicana NOM-229-SSA1-2002 que establece los límites de dosis y un reglamento de protección y seguridad radiológica siendo una guía principal para tomar las medidas adecuadas.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Iannucci, Joen M; Howerton, Laura Jansen. Radiografía Dental Principios y Técnicas. 4° ed. AMOLCA. 2013. Pág. 1.
2. Estructura molecular. Átomos, electrones, neutrones y protones [citado 2 de marzo 2019] Hallado en: <https://energia-nuclear.net/definiciones/atomo.html>
3. Whaites, Eric; Drage Nicholas. Fundamentos de radiología dental. 5° ed. Elsevier Masson. 2014. Pág.
4. Breve historia de la Radiactividad (III) [citado 3 de marzo 2019] Hallado en: <http://museovirtual.csic.es/coleccion/amaniel/radiactividad/radio3.htm>
5. Diccionario de Biografías. Grupo OCEANO. 2016. España, Barcelona. Pág. 83 y 248.
6. Chimenos Küstner Eduardo. Radiología en Medicina Bucal. Masson. 2005. Barcelona España. Pág. 3.
7. Espectro electromagnético. [citado 4 de marzo 2019] Hallado en: <https://iie.fing.edu.uy/proyectos/esopo/eem/>
8. Energía Nuclear. [citado 4 de marzo 2019] Hallado en: <https://energianuclearccb-abi.weebly.com/radiacion.html>
9. Pérez Montiel Héctor. Física general. Grupo Editorial Patria. 2014. 3°ed. México. Pág. 579.
10. Radiación natural y artificial. [citado el 4 de Marzo del 2019] Hallado en: <https://www.csn.es/radiacion-natural-y-artificial2>
11. Sikri Vimal K. Fundamentos de Radiología Dental. Amolca. 2012. 4° ed. Pág. 36-37.
12. T. W. Sadler, Embriología médica, Wolters Kluwer. 2016. 13° ed.
13. Embriología. Capítulo 4 tercera semana del desarrollo [citado 8 de marzo del 2019] Hallado en: <https://sites.google.com/site/embriologiauccclaudiapasuy0597/home/capitulo-4-tercera-semana-del-desarrollo>

14. Desarrollo embrionario [citado el 11 de marzo 2019] Hallado en: <https://cuidateplus.marca.com/reproduccion/fertilidad/diccionario/desarrollo-embrionario.html>
15. D. Andiscoa, c, S. Blancob y A.E. Buzzi. Dosimetría en radiología. Rev. Argent. Radiol. 2014;78(2):114-117. Hallado en: [http://www.webcir.org/revistavirtual/articulos/septiembre14/argentina/arg\\_esp\\_a.pdf](http://www.webcir.org/revistavirtual/articulos/septiembre14/argentina/arg_esp_a.pdf)
16. José Lattus Olmos. Radiaciones ionizantes durante el embarazo, los riesgos. Rev. Obstet. Ginecol. - Hosp. Santiago Oriente Dr. Luis Tisné Brousse 2016; Vol 11 (2): 113-121. Hallado en: <http://www.revistaobgin.cl/articulos/ver/730>
17. White, Stuart C. Goaz, Paul W. Radiología Oral Principios e Interpretación. Editorial Mosby/ Doyma Libros. 3ª Ed. Pág 49-50.
18. Reinaldo Uribe SM, Nicolás Sáez O, Jorge Carvajal C. Estudios de radiodiagnóstico durante el embarazo. Rev. Chil. Obstet. Ginecol. 2009; 74(2): 117 – 122. Hallado en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rchog/v74n2/art09.pdf>
19. Norma oficial mexicana NOM-229-SSA1-2002. Salud ambiental. [citado 24 de Marzo del 2019] Hallado en: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Federal/PE/APF/APC/SSA/Normas/Oficiales/NOM-229-SSA1-2002.pdf>
20. Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). Las radiaciones. Hallado en: <https://www.csn.es/las-radiaciones>
21. Yuri Nejaim, Karla de Faria Vasconcelos, Gina D Roque-Torres, Abraham Meneses-López, Frab Norberto Bóscolo, Francisco Haiter-Neto. Racionalización de la dosis de radiación. Rev Estomatol Herediana. 2015 Jul-Set;25(3):238-45. Hallado en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/reh/v25n3/a10v25n3.pdf>