



## Cuantificación de la dosis absorbida por medio de dosimetría termoluminiscente en radiología dental

### *Quantification of the absorbed doses by means of dosimetry thermoluminiscent in dental radiology*

Marino Crispín Aquino Ignacio,\* Patricia Avilés Mandujano,<sup>§</sup> María del Rosario Romero Corona,<sup>||</sup> Jacqueline Bojorge Rodríguez,<sup>¶</sup> Vania Pamela Ramírez Gutiérrez<sup>¶</sup>

#### RESUMEN

Después del descubrimiento de los rayos Roentgen, en el año de 1895, se realizaron diversos estudios, los cuales llevaron al conocimiento de los efectos nocivos que conlleva manejar este tipo de radiación ionizante, dependiendo de la cantidad de radiación, de la dosis absorbida y de la sensibilidad del tejido frente a la radiación.<sup>1</sup> Estos efectos secundarios pueden ir desde dermatitis o anemias, llegando en casos graves a hemofilia y en otros casos incluso llevó a algunos de los científicos a la mutilación de partes del cuerpo debido a necrosis.<sup>2</sup> Se estudiaron los efectos que ocasionan las radiaciones ionizantes con material y equipo que sirven como protección para el operador y el paciente, tales como dosímetros termoluminiscentes, equipo lector termoluminiscente y porta-dosímetros. Entre los resultados se observó que los límites anuales de dosis constituye una medida fundamental en la protección frente a las radiaciones ionizantes. Los límites de dosis actualmente en vigor se enuncian en la NOM-229-SSA 1-2002 así como en el Reglamento General de Seguridad Radiológica, de igual forma las medidas de protección necesarias para pacientes y operadoras embarazadas y niños. Los objetivos del presente estudio fueron cuantificar la dosis absorbida tanto para pacientes como para el personal ocupacionalmente expuesto (POE) y área física, de acuerdo a la NOM-229-SSA 1-2002, así como evaluar si las radiografías intraorales y extraorales utilizadas en odontología implican o no un riesgo importante dentro de la exposición a radiaciones ionizantes.

**Palabras clave:** Radiaciones ionizantes (rayos X), dosímetro, dosimetría termoluminiscente, efectos secundarios.

**Key words:** Ionizing radiations (X-ray), dosimeter, termoluminiscent dosimetry, side effects.

#### ABSTRACT

After the discovery of Roentgen rays, in 1895, different studies were made, discovering the injurious effects that handling this type of ionizing radiation entails, depending on the amount of radiation, the absorbed dose and the sensitivity of the tissues to the radiation.<sup>1</sup> These side-effects could be dermatitis, anemias, and hemophiliacs and in other cases some scientists were mutilated of parts of their body due to necrosis.<sup>2</sup> The effects that caused the ionizing radiations with protective material and equipment for the operator and the patient, such as termoluminiscent dosimeters and termoluminiscent reading equipment were studied. It was observed that annual limits of dose constitute a fundamental guideline in protection of the ionizing radiations. Current limits of dose are mentioned in the NOM-229-SSA 1-2002, as well as in the General Regulation of Radiologic Security. The objectives of the present study were to quantify the absorbed dose for patients and for the occupational exposed personnel (POE) and physical area, according to NOM-229-SSA 1-2002, and also to evaluate if the intraoral and extraoral X-rays in dentistry are an important risk within the exposure to ionizing radiations.

#### INTRODUCCIÓN

Las primeras imágenes de rayos X fueron obtenidas al azar por Wilhem Röntgen en 1865. Röntgen era catedrático de física de la Universidad de Würzburg (Alemania).<sup>3</sup>

Los rayos X son una radiación electromagnética de la misma naturaleza que las ondas de radio, las ondas de microondas, los rayos infrarrojos, la luz visible, los rayos ultravioleta y los rayos gamma. La diferencia fundamental con los rayos gamma es su origen, ya que los rayos gamma son radiaciones de origen nuclear que se produ-

cen por la desexcitación de un nucleón de un nivel excitado a otro de menor energía y en la desintegración de

\* Coordinador del Área de Imagenología.

§ Técnico asistente en Facultad de Ciencias, Física de las Radiaciones.

|| Alumna del Seminario de Imagenología.

¶ Profesora adscrita al Departamento de Imagenología.

isótopos radiactivos, mientras que los rayos X surgen de fenómenos extranucleares, a nivel de la órbita electrónica, fundamentalmente producidos por la desaceleración de electrones.<sup>4</sup> La energía de los rayos X, dentro del espectro electromagnético, se encuentra entre la radiación ultravioleta y los rayos gamma.

La producción de la radiación ionizante se genera cuando conectamos el aparato de rayos Roentgen a una corriente eléctrica; al activarse el aparato tenemos un haz de electrones que circulan por un filamento metálico de tungsteno que al paso de la corriente se calienta (efecto Joule) y, al alcanzar temperaturas elevadas, desprende una nube de electrones (efecto Edison). Todo esto se realiza en el interior de una ampolla de vidrio, la cual se encuentra al alto vacío. Con el fin de que los electrones no interactúen con el gas que llena la ampolla, ésta va sumergida en aceite de refrigeración y rodeada de una coraza de plomo a excepción de la ventana de emisión. La cantidad de electrones que se desprenden del filamento, se aceleran y se hacen colisionar contra el anticátodo o blanco. Sólo el 1% de la energía suministrada a los electrones se convierte en radiación ionizante, y el resto se convierte en calor. El ánodo debe tener una angulación aproximada de 20° para que se pueda aumentar la potencia mientras se disparan los electrones contra él (*Figura 1*).

La interacción inicial entre la radiación y la materia se produce a nivel molecular en los primeros diez segundos inmediatos a la exposición.<sup>1</sup>

Esta interacción modifica las moléculas biológicas, y estos cambios pueden dar alteraciones en las células y organismos que persisten horas, décadas e incluso generaciones.

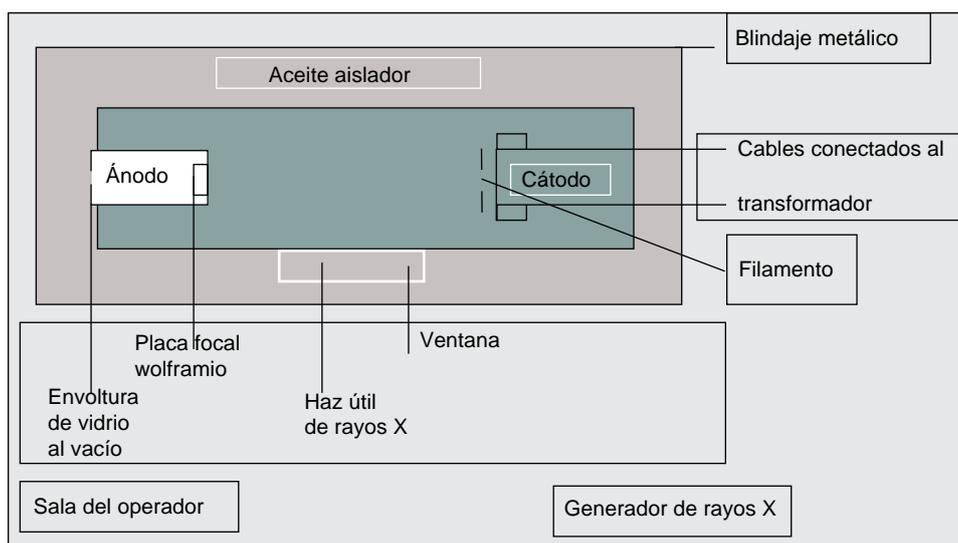
Es importante conocer los efectos de la radiación ionizante en el material biológico, y específicamente en el ser humano, a través de la medición de la dosis absorbida (Gy-gray) en determinados estudios radiológicos; esta medida es esencial en radioprotección: la medida de la dosis de radiación absorbida por el cuerpo se le denomina Gray (Gy) y es equivalente a un Julio por kilogramo de materia.<sup>6</sup>

Dependiendo de la dosis absorbida se presentan diversas manifestaciones, encontrando que:<sup>7</sup> de 1 a 2 Gy provocarán síntomas prodrómicos, que van desde los primeros minutos a horas siguientes a la radiación de todo el cuerpo y se pueden producir síntomas característicos de trastornos del sistema gastrointestinal, tales como anorexia, náuseas, vómito y diarrea, además de fatiga y debilidad.

De 2 a 4 Gy comienzan a causar síntomas hematopoyéticos leves, ya que lesionan las células madre hematopoyéticas convirtiendo a la médula ósea en un tejido muy radiosensible.

En el rango de 4 a 7 Gy, conciben síntomas hematopoyéticos graves, que van de llevar a una rápida y profunda disminución de granulocitos y plaquetas circulantes, finalmente de eritrocitos.

De 7 a 15 Gy causan síntomas gastrointestinales, que típicamente no se observan entre los días 2 y 5 que corresponden a un periodo latente, donde el paciente se siente bien. Sin embargo tal exposición produce considerables lesiones en células epiteliales basales y rápida proliferación de las vellosidades intestinales y da lugar a la pérdida de la capa epitelial de la mucosa intestinal. El tiempo de cambio o desnudación de células que tapizan el intestino delgado suele ser de 3-5 días; durante este recambio se pro-



**Figura 1.** Producción de radiación ionizante (rayos X).<sup>5</sup>

duce pérdida de plasma y electrólitos, una mala absorción intestinal, ulceraciones, hemorragias intestinales, diarrea, deshidratación y pérdida de peso; en casos graves septicemias, ya que las bacterias endógenas invaden con facilidad la superficie anudada.

Después de una exposición de más de 50 Gy provocan síntomas cardiovasculares y del sistema nervioso central. Este tipo de exposición superior a 50 Gy suelen producir muerte en 1 ó 2 días (*Cuadro I*). Los escasos seres humanos que han sido expuestos a estos niveles presentaron colapso del sistema circulatorio, con un brusco descenso de la tensión arterial en horas anteriores al fallecimiento. La autopsia reveló necrosis del músculo cardíaco. Las víctimas pueden mostrar coma intermitente, incoordinación, desorientación y convulsiones que sugieren una lesión extensa del sistema nervioso. El síndrome es irreversible, puede tener una duración desde minutos hasta alrededor de 48 horas antes del fallecimiento.

La revisión de la dosis recibida por el paciente es un instrumento importante para el control de calidad y es importante tenerla bien definida,<sup>8</sup> por lo que se han introducido niveles de referencia de diagnóstico (DRLs) por la Unión Europea en el directorio médico de la exposición (MED) (97/43/Euratom).<sup>9</sup>

La NRPB (National Radiological Protection Board) recomienda la adopción de la dosis de referencia de 4 mGy para una radiografía intraoral de molares de la mandíbula y de 65 mG para una radiografía panorámica de adulto estándar. Estos valores de referencia se pueden utilizar como guía a la práctica clínica aceptada. Sin embargo, el logro de dosis en o debajo de los valores de referencia no se puede interpretar como logro del funcionamiento óptimo.<sup>10</sup> Muchos factores pueden influenciar la dosis requerida para producir una imagen de buena calidad, como fue referido por Chadwick y Dummer,<sup>11</sup> estos factores pueden incluir voltaje del tubo, tiempo de exposición, velocidad de la película e instalaciones de procesamiento.

Alrededor del 30% de las clínicas equipadas con sistemas convencionales todavía están utilizando la

película de la velocidad D mientras que otros han cambiado a una película más rápida de velocidad E/F que podría reducir la exposición hasta el 50%,<sup>12</sup> aunque el uso de una película de mayor velocidad no conduce siempre a reducir la dosis de la exposición.

Según lo recomendado por el documento de protección contra la radiación No. 136 de la Comisión de las Comunidades Europeas,<sup>9</sup> el voltaje del tubo de las unidades intraorales de radiología debe medir entre 60 y 70 kilovoltios.

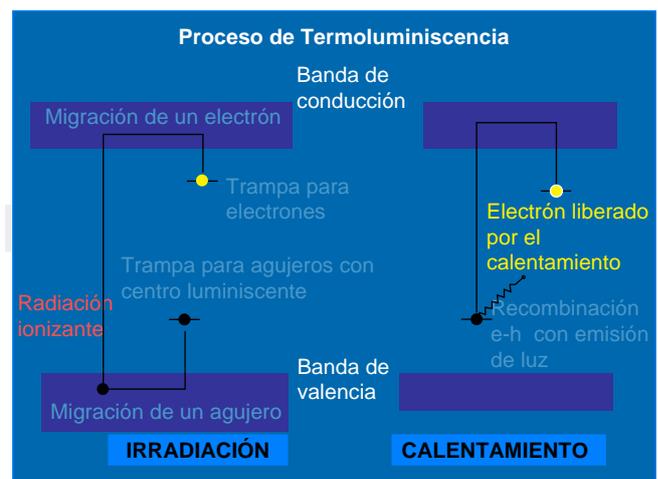
Según la Agencia Internacional de Energía Atómica (la AIEA) y la Comisión Internacional en la Protección Radiológica (ICRP),<sup>13,14</sup> se recomienda la dosimetría en paciente y operador, donde se mide la dosis absorbida para optimizar el nivel de protección contra la radiación en paciente y personal ocupacionalmente expuesto (POE).

Para la evaluación de la calibración de los instrumentos y de las dosis de radiación, se utilizan medidores de ésta, que normalmente miden la dosis a la que está expuesto el personal que labora, o que permanece en las zonas en que existe riesgo de irradiación. De acuerdo con el principio de funcionamiento pueden ser: de cámara de ionización, de película fotográfica o de termoluminiscencia.<sup>15</sup> Estos últimos (dosímetros termoluminiscentes) son los más utilizados, ya que pueden almacenar información, a causa de la exposición a la radiación. De modo que esta información se recupera cuando el dosímetro se somete a un calentamiento continuo dentro de un intervalo específico para recuperar, por medio de luz la respuesta a la irradiación a la que fue expuesto y listo para ser reutilizado de nuevo.<sup>16</sup>

La dosimetría termoluminiscente está basada en las propiedades que tienen algunos materiales de pro-

**Cuadro I.** Síndrome agudo de radiación.<sup>5</sup>

Dosis en Gy	Manifestación
1 - 2	Síntomas prodrómicos
2 - 4	Síntomas hematopoyéticos leves
4 - 7	Síntomas hematopoyéticos graves
7 - 15	Síntomas gastrointestinales
50 +	Síntomas cardiovasculares y del sistema nervioso central.



**Figura 2.** Proceso de termoluminiscencia.

ducir termoluminiscencia, es decir, emiten luz cuando se someten a una fuente calorífica y su respuesta es dependiente de la dosis de radiación a la que son expuestos.<sup>6</sup> Los dosímetros están elaborados en base a compuestos químicos como el fluoruro de litio, calcio, borato de litio, sulfato de calcio o de bario y óxido de aluminio o de circonio. En función de las aplicaciones se producen en forma de cuadros, discos, cilindros o polvo. El objetivo de la dosimetría es la detección, análisis y cuantificación de la intensidad de radiación a que se ha sometido un organismo, por medio de la lectura termoluminiscente, que es el proceso de medición de la luz o brillo emitida cuando un dosímetro termoluminiscente es calentado dentro del equipo lector termoluminiscente<sup>5</sup> (Figura 2).

La observación de los límites anuales de dosis constituye una medida fundamental en la protección frente a las radiaciones ionizantes.<sup>7</sup> Los límites de dosis son valores que nunca deben ser sobrepasados y que pueden ser rebajados de acuerdo con los estudios de optimización adecuados y se aplican a la suma de las dosis recibidas por exposición externa e interna en el periodo considerado. Los límites de dosis actualmente en vigor, están referidos en la NOM-229-SSA 1-2002 así como en el Reglamento General de Salud Radiológica y se refieren a un periodo de tiempo de un año y diferencian entre trabajadores expuestos (POE), personas en formación o estudiantes y pacientes. También están establecidos límites y medidas de protección especial para determinados casos como mujeres embarazadas y en periodo de lactancia y exposiciones especialmente autorizadas, tales como exposiciones en niños.<sup>8</sup>

## MATERIAL Y MÉTODOS

En el presente estudio se realizaron 315 radiografías y 314 mediciones con los dosímetros termoluminiscentes para evaluar la cantidad de radiación recibida en 35 pacientes y el operador del equipo en diferentes métodos de diagnóstico radiográfico, tales como radiografías dentoalveolares, oclusales, series radiográficas en odontología.

En el Laboratorio de Física de Radiaciones de la Facultad de Ciencias de la UNAM, se realizó el protocolo de tratamiento térmico, que consistió en hornear las placas dosimétricas a una temperatura de 400°C durante una hora, para eliminar toda la información de la radiación absorbida, y de esta manera liberar los electrones atrapados. Posteriormente se dejaron reposar 24 horas antes de recibir cualquier tipo de radiación.

Para irradiarlos, se prepararon bolsas pequeñas de color negro para meter las placas dosimétricas y de

esta manera protegerlas de la radiación solar, colocándose los dosímetros dentro de las mismas en un cuarto con luz tenue para que no absorbieran radiación, ya que son muy susceptibles a cualquier tipo de radiación. En la *figura 3* se muestran los dosímetros comparados con la punta de un lápiz, para la demostración de su tamaño que es de dimensiones de 3 x 1 mm.

A continuación se llevaron a cabo todos los procedimientos de diagnóstico, tales como radiografías dentoalveolares, series radiográficas y oclusales, que se manejan en odontología para determinar la cantidad de radiación ionizante y hacer un comparativo de la radiación que recibe el paciente y el personal operativo entre distintos métodos de diagnóstico (*Figuras 4 y 5*).

Una vez que recibieron la radiación ionizante los dosímetros termoluminiscentes se rotularon con las diferentes tomas radiográficas realizadas tanto del operador como el del paciente; después de ser radiados se realizó el proceso de lectura de los dosímetros



**Figura 3.** Comparación de dosímetros con la punta de un lápiz.



**Figura 4.** Dosímetro empleado en el operador.



**Figura 5.** Toma de radiografía dentoalveolar.

termoluminiscentes en un cuarto oscuro con atmósfera de nitrógeno de alta pureza, dejando reposar las placas dosimétricas 24 horas.

Los aparatos de radiación ionizante empleados fueron los convencionales, radiovisiógrafo, equipo lector termoluminiscente Harshaw TLD M3500 de 20°C a 300°C, 38 dosímetros TLD-200 y 12 dosímetros TLD-100 comerciales marca Harshaw nuevos del mismo lote, horno de altas temperaturas con una tasa de calentamiento de 10°C/s desde 20° hasta 300°C, 50 bolsas de plástico negras, pinzas de disección, 50 portadosímetros y 35 pacientes y un operador.

## RESULTADOS

Al realizar la lectura de los dosímetros termoluminiscentes expuestos a radiación ionizante se obtiene una curva de brillo, en función de la radiación absorbida, donde la respuesta termoluminiscente se mide en unidades de nano Coulomb.\*

Por esta razón se realizó una calibración radiológica de los dosímetros, para obtener las cifras en mGrays (mGy) y con ésta calcular la dosis para cualquier respuesta termoluminiscente. En el *cuadro II* se muestran los valores reportados en la literatura y en el *cuadro III* los valores obtenidos en este trabajo con los dosímetros termoluminiscentes.

## CONCLUSIONES

Es de suma importancia estar al tanto de que existen aparatos para la medición de la radiación ionizante y que están a nuestro alcance, así como el cuantificar los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes y reconocer que cuando se rebasa el límite de la dosis pueden implicar un riesgo importante, una exposición bajo 0.05 Gy no representa un riesgo cuantificable.

El personal odontológico está expuesto a una dosis ínfima de radiación, siempre y cuando se utilicen las medidas de protección como lo marca la NOM-229-SSA 1-2002 y El Reglamento General de Seguridad Radiológica, de ésta forma no existe riesgo alguno, ya que para llegar a una dosis alta de 1 Gy se tendrían que realizar un total de 1,142 exposiciones

**Cuadro II.** Valores reportados previos al actual análisis.

Proyección radiológica	Valor informado (mGy)	Fuente
Ortopantomografía	0.65	Cohen M, Kemper J, Möbes O, Pawelzik J, Mödder U. Radiation dose in dental radiology. Eur Radiol. 2002, Mar; 12 (3): 634-7.
CT dental	4.20	Cohen M, Kemper J, Möbes O, Pawelzik J, Mödder U. Radiation dose in dental radiology. Eur Radiol. 2002, Mar; 12 (3): 634-7.
Tomografía digital	23.00	Cohen M, Kemper J, Möbes O, Pawelzik J, Mödder U. Radiation dose in dental radiology. Eur Radiol. 2002, Mar; 12 (3): 634-7.
Mandíbula	0.712	Megar J, Gómez P, Sáenz C, Collado P, Montes C, de Sena E. Estimación de dosis a paciente en estudios de ortopantomografía. Revista de Física Médica 2004; 5(1): 25-31.
Cráneo	0.008	Megar J, Gómez P, Sáenz C, Collado P, Montes C, de Sena E. Estimación de dosis a paciente en estudios de ortopantomografía. Revista de Física Médica 2004; 5(1): 25-31

\* Unidad de medida del sistema internacional de carga eléctrica que es transportada por una corriente eléctrica.

**Cuadro III.** Resultados obtenidos de la lectura de los dosímetros termoluminiscentes después de haber sido expuestos a un aparato de rayos X convencional.

Método diagnóstico	Kilovoltaje (Kv)	Miliamperaje (mA)	Tiempo de exposición (seg)	Resultado obtenido (mGy)
Molares maxilar	70	8	0.40	0.7
Premolares maxilar	70	8	0.32	0.6
Canino maxilar	70	8	0.32	0.6
Anteriores maxilar	70	8	0.25	0.5
Molares mandíbula	70	8	0.40	0.7
Premolares mandíbula	70	8	0.32	0.7
Anteriores mandíbula	70	8	0.25	0.6
Serie radiográfica de 14	70	8		2.5

radiográficas dentoalveolares, 1,111 oclusales y 400 series radiográficas en un solo día.

### REFERENCIAS

1. L. Brent Robert, Counseling patients exposed to ionizing radiation during pregnancy. *Panam J Public Health* 2006; 20(2-3): 198-204.
2. Anton PF. Radiología odontológica. 2a Edición. Ediciones científicas y técnicas capítulo 6.
3. de Freitas A, Rosa JE, Souza IF. Radiología odontológica. Editorial Latinoamericana. 2002. Capítulos 2 y 7.
4. Iannucci HJ, Jansen L. Radiología dental. 2a edición. Editorial McGraw-Hill Interamericana. Capítulos 13 y 14.
5. Morales M. Dosimetría termoluminiscente primer curso de protección radiológica. UNAN-Managua, Nic del 30 de Noviembre al 2 de Diciembre del 2000: 1-14.
6. <http://www.sievert-system.org>
7. White SC, Pharoah MJ. Radiología oral principios e interpretación. 4a Edición. Editorial Elsevier Science. capítulos 2 y 3.
8. Helmrot E et al. Measurement of radiation dose in dental radiology. *Radiat Protec Dosi* 2005; 114(1-3): 168-171.
9. Poppe B, Looe HK et al. Radiation exposure and dose evaluation in intraoral dental radiology. *Radiat Protec Dosi* 2006; 123(2): 262-267.
10. ID Napier. Referent dose for dental radiography. *British Dental Journal* 1999; 186(8).
11. Chadwick BL, Dummer PHM. Factor affecting the diagnostic quality of bitewing radiographs: a review. *Br Dent* 1998; 184: 80-84.
12. European Commission. European Guidelines on radiation protection in dental radiology: the safe use of radiographs in dental radiology. Radiation Protection 136. (Luxembourg: Office for Official Publication of the European Communities) (2004).
13. International Commission on Radiological Protection, 1990. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP (1-3) (Oxford: Pergamon Press) (1991).
14. International Atomic Energy Agency. International basic safety Standard for protection against ionizing radiation and the safety of radiation source. Safety Series, No. 115 (Vienna: IAEA) 279-280 (1996).
15. Wuehrmann AH, Manson-Hing LR. Radiología dental. Editorial Salvat. Tercera edición. Capítulos 1 y 4.
16. Occupational Safety and Health Administration Department of Labor 29 CFR Ch XVII (7-1-03 Edition).

### LECTURAS RECOMENDADAS

1. Taveras. Manual de radiología médica. Capítulo 7.
2. NOM-229-SSA1-2002. Salud ambiental.
3. Gayarre G, Delgado MMT, Martínez MM, Oton SC. Manual de radiología clínica. 2a edición. Editorial Harcourt páginas 16-47.
4. Reglamento General de Seguridad Radiológica, 1993.
5. Santin G. Vademecum Radiológico. Editorial McGraw-Hill Interamericana. Capítulos 1- 6.
6. NOM-012-STPS-1999. Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se produzcan, usen, manejen, almacenen o transporten fuentes de radiaciones ionizantes.
7. NOM-031-NUCL-1999. Requerimientos para la calificación y entrenamiento del personal ocupacionalmente expuesto.
8. NOM-026-STPS-1998. Colores y señales de seguridad e higiene e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías.
9. NTP 614: Radiaciones ionizantes: normas de protección.
10. Gómez MRA. Radiología odontológica. Editorial Mundi. 2a. Edición. 1975 capítulos 1 y 2.
11. Urzua R. Radiología Odontológica. Capítulo 1.
12. [www.radiobiologia.com](http://www.radiobiologia.com)
13. F:magnitudes y unidades radiológicas.htm
14. [www.medidorderadioactividadGAMMA-SCOUT.com](http://www.medidorderadioactividadGAMMA-SCOUT.com)
15. <http://dmfr.birjournals.org>. Dentomaxillofacialradiology (2007).
16. [www.efectosbiológicosdelaradiación.com](http://www.efectosbiológicosdelaradiación.com)

Dirección para correspondencia:  
**Dr. Marino Crispín Aquino Ignacio**  
 Pensilvania Núm. 141  
 Colonia Parque San Andrés Coyoacán,  
 Delegación Coyoacán  
 C.P. 04040  
 E-mail: [marinoromrx@hotmail.com](mailto:marinoromrx@hotmail.com)