

# La radiación electromagnética de alta frecuencia en la medicina

Arechiga-Solís José Antonio<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Servicio de Medicina Nuclear, Centro Medico Nacional de Occidente,  
Instituto Mexicano del Seguro Social, Guadalajara, México

\*jarechigasyes@gmail.com

**Para citar este artículo:**

Arechiga-Solís J. A. (Enero 2017). La radiación electromagnética de alta frecuencia en la medicina.  
*Revista Acta de Ciencia en Salud*, 2(1): 14-19.

## Resumen:

En la actualidad, ya se cuentan con un gran número de investigaciones, experimentos, reglamentaciones, filosofías y normas, que nos ayudan a emplear la radiación ionizante de una manera más segura y responsable, por lo que se han minimizado los riesgos de daño biológico producido por la Radiación Electromagnética de Alta Frecuencia. En los hospitales de todo el mundo se utiliza la radiación ionizante para la elaboración de estudios de radio diagnóstico y el personal encargado de ello, debe tener cierta capacitación y adiestramiento puesto que es el principal responsable de un buen manejo de material radioactivo. En este artículo, nos encargaremos de hacer un recuento o resumen de los aspectos más importantes y fundamentales de la protección radiológica, con esto nos referimos a la protección no únicamente del personal ocupacionalmente expuesto, sino también de los pacientes y es que, la protección al paciente va de la mano a la protección del mismo personal.

## Abstract:

At present, already have a large number of investigations, experiments, regulations, philosophies and standards that help us use ionizing radiation in a safe and responsible manner, so the risks are minimized biological damage from the High Frequency Electromagnetic Radiation. In hospitals worldwide ionizing radiation for the development of diagnostic studies and radio personnel performing these studies used, should have some training and instruction as it is primarily responsible for good management of radioactive material in this article, we'll make a count or summary of the most important and fundamental radiation protection, with this aspect we refer to the protection not only of occupationally exposed, but also patients and the protection patient goes hand in hand with the protection of the same staff.

**Keywords:** Radiación electromagnética de alta frecuencia, ionización, medicina nuclear.

## 1. Introducción

### 1.1. Biología de la Radiación

La Biología de la Radiación es la disciplina encargada de estudiar los efectos que produce la Radiación Electromagnética de Alta Frecuencia (REAF) en

los seres vivos, así como la secuencia de eventos que ocurren después de haberse absorbido la energía de esta radiación ionizante y las consecuencias de los daños biológicos producidos en los seres vivos.

El cuerpo humano es un sistema que está compuesto de una gran diversidad de células, las cuales son susceptibles al daño producido por la radiación, esto es conocido como radiosensibilidad. Las células responden de diferente forma dependiendo del tipo de radiación, cantidad de dosis y tipo de células, por ejemplo; estudios recientes han demostrado que las células madre embrionarias humanas reaccionan de manera diferente ante la radiación ionizante que las células humanas adultas [1].

Existen exploraciones médicas en las cuales se somete al paciente a técnicas en las que se utiliza radiación ionizante, y no únicamente él está sometido a esta ionización, sino también el Personal Ocupacionalmente Expuesto (POE) mismo que debe estar plenamente consciente que corre mayor riesgo que el paciente, dado que estará expuesto constantemente a la radiación ionizante a lo largo de su vida laboral, por lo tanto debe incluir en su formación académica el conocimiento básico de la célula, su composición, mitosis, meiosis, apoptosis, así como los efectos adversos que la REAF produce en ella, además de llevar un entrenamiento y constante re-entrenamiento en protección radiológica así como actualizar su conocimiento en dicho tema, esto no únicamente para protección del paciente y del medio ambiente, también para protección de sí mismo y del personal que lo rodea en su área de trabajo [2], así como también someterse a estudios de laboratorio y medición de dosimetría anual. Existen un amplio número de recomendaciones periódicas basadas en estudios e investigaciones hechas por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), mismas que pretenden la regulación de las normas correspondientes en las instalaciones que manejen este tipo de radiación.

### **1.2. ¿Qué es la Radiación Electromagnética de Alta Frecuencia?**

La Radiación Electromagnética está clasificada de acuerdo a su frecuencia y longitud de onda, esto es lo que le da su característica principal pues puede ser ionizante o no ionizante. Entre los tipos de radiaciones no ionizantes se encuentra la luz visible, cuya frecuencia y longitud de onda son de unos 300 THz y 1 micrómetro de distancia entre cada onda respectivamente, este tipo de radiación es considerado de baja frecuencia y no ionizante, sin embargo nosotros en este artículo, nos ocuparemos de hablar de la

radiación electromagnética que es de alta frecuencia y por lo tanto ionizante. Este tipo de radiación tiene frecuencias mayores a 3 PHz y pueden llegar hasta los 3000 PHz, como es el caso de los rayos cósmicos, los cuales han resultado todo un reto para los países más desarrollados que se interesan en navegación espacial puesto que en los viajes espaciales, los astronautas que han sido expuestos a los rayos cósmicos han regresado con lesiones en médula ósea y afección en la activación de los osteoclastos, dando como resultado osteoporosis inducida por la radiación [3].

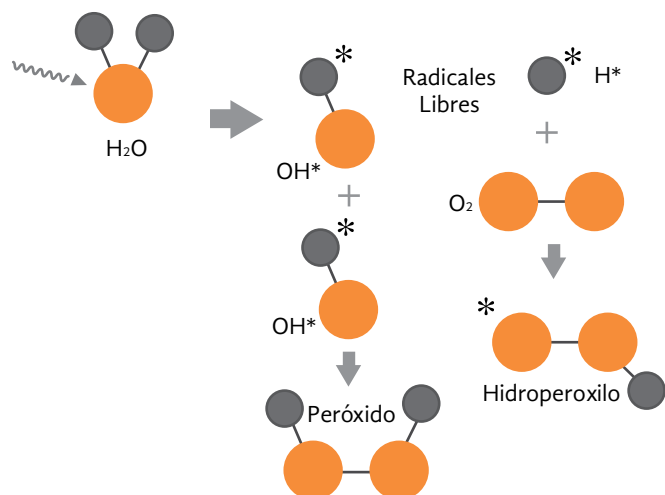
En este artículo nosotros nos centraremos en la radiación ionizante utilizada para fines médicos, por lo tanto a partir de este momento cuando hablemos de la REAF nos referiremos a radiación  $\alpha$ ,  $\beta$ , rayos X y rayos  $\gamma$ , siendo este tipo de radiación la que se emplea comúnmente en los métodos de exploración médica.

### **1.3. Radiólisis del agua y daño celular**

La radiación ionizante daña en forma directa (afectando el DNA) o en forma indirecta (radiólisis del agua) a la célula, produciendo efectos biológicos a través de radicales libres altamente reactivos, productos de la radiólisis de las moléculas de agua (fig. 1), siendo este el primer daño que produce la REAF. Existen teorías y diversas investigaciones en las que se asegura que este tipo de daño celular es detonante de producción de células cancerígenas y defecto genético [4], así como de apoptosis, la cual es un proceso bioquímico y molecular activo de muerte celular programada tras irradiación u otros daños [5].

La célula es la unidad básica y fundamental de todos los seres vivos, así pues es esencial para la vida. En nuestro organismo existen diferentes tipos de células, cada tipo con una función específica, sin embargo todas trabajan en conjunto para contribuir con la homeostasis.

Es importante resaltar que el daño biológico producto de la REAF no se da necesariamente a el sistema en su totalidad, sino que depende de la radiosensibilidad de las células. Las células altamente diferenciadas son resistentes a la radiación y las células inmaduras y poco diferenciadas son más radiosensibles. Los franceses Bergonie y Tribondeau



**Figura 1.** En la Radiólisis del agua, cuando un fotón de rayos X o  $\gamma$  interactúa con la molécula pueden producirse los siguientes resultados: A partir de la molécula del agua se forman un ion par ( $H^-$  y  $OH^+$ ) y 2 radicales libres ( $H^*$  y  $OH^*$ ), un radical libre  $OH^*$  (hidroxilo) puede unirse a otro y formar peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ), o a su vez puede formarse un radical hidroperoxilo ( $HO_2^*$ ) con la unión de un radical  $H^*$  y oxígeno molecular  $O_2$ , el peróxido de hidrógeno y el hidroperoxilo son sustancias dañinas para la célula, y estas reacciones pueden desencadenar reacciones en el DNA produciendo daño biológico y apoptosis.

(Francia, 1906) estudiaron los efectos que produce la radiación al incidir sobre células testiculares de ratón, observaron que las células germinales con gran número de mitosis, tenían un mayor número de alteraciones con respecto a las células intersticiales, mitóticamente menos activas, gracias a este descubrimiento establecieron la siguiente ley: “la radiosensibilidad de la célula es directamente proporcional a su actividad reproductiva e inversamente proporcional a su grado de diferenciación” esto es que, la radiación afecta principalmente a las células que se están reproduciendo o tienen menor madurez de especialización o diferenciación, por consiguiente la fase de vida humana en la que somos más susceptibles a la radiación es en el estado embrionario, puesto que el embrión-feto está conformado por una gran cantidad de células inmaduras y poco diferenciadas, sobretodo antes de la semana 36 cuando no están desarrollados en su totalidad los órganos. Conocer esto es de suma importancia para el POE que esta encargado de la realización de estudios de radiodiagnóstico, dado que en investigaciones recientes ya se ha determinado que la

REAF puede ocasionar diferentes tipos de mutaciones somáticas, así como en las células hematopoyéticas fetales son producidas lesiones y rupturas de las cadenas del ADN [1], en ocasiones cuando es necesario realizar estudios de radio diagnóstico a la madre, es obligatorio interrogarle con respecto a las semanas de gestación que han transcurrido, para evitar daños en el producto.

Además del descubrimiento hecho por Bergonie y Tri-bondeau, también se sabe que existen otros factores que hacen radiosensibles a la células, estos son, su estado metabólico, estado de división celular y su estado de nutrición, así como los diferentes etapas de su división, las células que no han alcanzado una madurez total, son más sensibles que las ya maduras.

#### 1.4. Radiosensibilidad Celular

- Son sensibles: linfocitos T, eritroblastos, espermatogonias, mielocitos, células de las criptas intestinales, células germinales de la epidermis, células de la mucosa gástrica y células endoteliales de pequeños vasos.

- Medianamente sensibles: osteoblastos, osteoclastos, ostiocytes, condroblastos, folículos ováricos primitivos, es-permatocitos y espermátides, espermatozoides, granulocitos, así como las células superficiales del tracto gastrointestinal.

- Moderadamente resistentes: células de conductos glandulares, fibroblastos, endotelio de grandes vasos, eritrocitos.

- Relativamente resistentes: fibrocitos, células reticulares, condrocitos, fagocitos.

- Resistentes: células musculares y del sistema nervioso.

Contando con este conocimiento, la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardas ha indicado que en los servicios en los que se manejan fuentes de radiación ionizante del tipo cerrada o abierto, todos los POE se deben realizar chequeos y monitoreo continuos, para así evitar los efectos determinísticos y erradicar casi en su totalidad los efectos estocásticos, entre estos estudios se incluyen estudios laboratoriales como; Biometría hemática, placas radiológicas de tórax y lecturas de dosimetría mensual y dosimetría anual.

Existen tejidos que son radiosensibles (la glándula tiroidea y las gónadas), por lo tanto se debe tener un primordial cuidado utilizando blindaje (generalmente plomo), para evitar que POE resulte afectado.

Al momento de realizar cualquier estudio en el que se encuentra involucrada REAF, es importante que el personal que está realizando el procedimiento tome en cuenta la cantidad de dosis administrada dependiendo de la zona que se va a explorar y la edad del paciente, dado que se ha demostrado que en los infantes, la radiosensibilidad es mucho mayor que en los adultos, a corta edad son más susceptibles de producir células cancerígenas, existen investigaciones en las que se investigaron a los niños sobrevivientes de las bombas nucleares que recibieron una dosis de 50-100 mGy, calculada con la distancia en que fueron expuestos a la radiación, asociándose este evento como un riesgo para desarrollar malignidad de células tiroideas, persistiendo incluso hasta por cuatro décadas después de la exposición [6]. Después del accidente en la planta nuclear de Fukushima en el año 2011, fueron liberadas al ambiente grandes cantidades de yodo radioactivo, por lo tanto es importante tomar precauciones para evitar decesos por cáncer de tiroides, sobretodo es necesario estar atentos en los niños y jóvenes adultos, puesto que ellos son los más propensos a desarrollar este tipo de padecimiento en esta etapa de su vida [7].

## 2. Datos históricos de protección radiológica

El Comité Internacional de Protección de los Rayos X y del Radio, establecido en 1928 por el Congreso Internacional de Radiología, fue el primer organismo preocupado por establecer normativas y recomendaciones para una adecuada protección radiológica, este comité fue rebautizado en 1950 y hoy se le conoce el nombre de Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP por sus siglas en inglés).

La protección radiológica inició prácticamente desde que se comenzaron a ver efectos determinísticos en personal médico como daños evidentes en la piel, en estos momentos el eritema era la Unidad para medir la exposición a la radiación (tabla 1) [8]. Las recomendaciones del ICRP, se basaron en una reducción de horas trabajo para el personal médico ocupacionalmente expuesto, su equivalente era de unos 1000

milisievert (mSv) por año, en ese momento se desconocían los efectos estocásticos, por lo que en 1954 el personal de radiología en Norteamérica comenzó a sufrir efectos derivados de la sobreexposición a la radiación siendo afectado con cáncer.

Los primeros indicios de leucemia comenzaron a aparecer en los sobrevivientes de los ataques con bombas nucleares de Hiroshima y Nagasaki alertando al ICRP el cual obtuvo una nueva visión de las afecciones derivadas de la sobreexposición a la REAF, por lo que en 1956 se fijó un límite anual de 50 mSv en POE y 5 mSv por año al público [5]. En la actualidad para nuestro país la dosis permitida por año para el POE es de 50 mSv y al público de 1 mSv por año.

El organismo encargado de regular las normas de protección radiológica en nuestro país es la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardas (CNSNS), la cual basa sus principios en las recomendaciones del ICRP, y reglamenta el manejo de fuentes radiactivas cerradas o abiertas, mediante las Normas Oficiales Mexicanas y el Reglamento General de Seguridad Radiológica.

## 3. Conceptos básicos y criterios de protección radiológica

En la actualidad se conocen ampliamente los efectos que la radiación ionizante provoca en el ser humano, sin embargo los métodos que emplean este tipo de radiación se siguen llevando a cabo en hospitales de todo el mundo, siendo una herramienta valiosa en la determinación diagnóstica de ciertas patologías, los pacientes que son sometidos a este tipo de exploraciones reciben un gran beneficio de su uso a pesar de que la intervención de radiaciones ionizantes en ellos hace necesario tener en cuenta la presencia de un factor de riesgo.

1900-1930	Dosis de eritema en la piel (SED)
1930-1950	Dosis de tolerancia
1950-1977	Dosis máxima posible (MPD)
1977-1991	Equivalente de dosis efectiva ( $H_E$ )
1991-Presente	Dosis Efectiva (E)

**Tabla 1.** Evolución de la protección radiológica y su terminología.

Para que estas prácticas produzcan más beneficios netos que riesgos o perjuicios, fue necesario difundir una filosofía de protección radiológica la cual es imprescindible en el manejo de fuentes abiertas o cerradas y disminuye el riesgo potencial de efectos secundario a corto o largo plazo. La filosofía se basa en el concepto ALARA, esta palabra es el acrónimo de “as low as reasonably achievable” o “tan bajo como sea razonablemente posible” refiriéndonos con esto a la cantidad radiación a la que vamos a exponer al paciente y a nosotros mismos en el momento de practicar técnicas que conllevan el uso de fuentes de radiación. Un ejemplo de esto es la dosis que se le administran los pacientes en los servicios de medicina nuclear al hacer exploraciones “in vivo” la cual tiene que ser lo más baja posible, sin embargo no tan baja como para que el estudio tenga una mala calidad y sea difícil de interpretar por el personal médico.

Para llevar a cabo estos procedimientos es necesaria plena justificación puesto que se expondrá a un ser humano a fuentes de radiación ionizante.

Para llevar a cabo dichas técnicas es necesario basarnos en los siguientes principios:

-Principio de justificación: Cualquier decisión que altere la situación de exposición a radiación debería producir más beneficio que daño.

-Principio de optimización de la protección: La probabilidad de recibir exposiciones, el número de personas expuestas, y la magnitud de las dosis individuales deberían mantenerse tan bajas como sea razonablemente alcanzable, teniendo en cuenta factores económicos y sociales.

-Principio de aplicación de límites de dosis: En situaciones de exposición planificada para fuentes reguladas, que no consistan en exposiciones médicas de pacientes, la dosis total de cualquier individuo no debería exceder los límites pertinentes recomendados por la Comisión [5].

Es importante resaltar que con las adecuaciones que se han hecho en las últimas décadas a los criterios de administración de radiofármacos y estudios asociados con fuentes radioactivas, los riesgos de producir cáncer en una persona que fue sometida a este tipos

estudios es por lo general muy pequeños, así como los daños genéticos son prácticamente nulos [9].

#### **4. Reforzando el organismo para disminuir daños producidos por la radiación**

En la actualidad ya se cuenta con varias investigaciones en las cuales se ha descubierto que ciertas vitaminas y antioxidantes nos ayuda a reforzar los mecanismos antioxidantes del organismo para que el POE y demás personas que hayan sido expuestas a la REAF, reduzcan los riesgos y por ende los daños provocados por la ionización.

Existen datos obtenidos en experimentos que fueron realizados en laboratorio con técnicas “in vitro” e “in vivo”, además de algunos estudios hechos en seres humanos, en los cuales se descubrió que se pueden formular mezclas de antioxidantes en la dieta y elevando el glutatión en dosis apropiadas, se pueden proteger los tejidos normales contra las mutaciones somáticas, cáncer y defectos de nacimiento hereditarios. Por lo tanto el POE así como los pacientes que son sometidos a tratamientos con radioterapia, pueden incorporar en su dieta estas mezclas de antioxidantes y así disminuir el riesgo de daño biológico producido por la radiación ionizante [10].

En otras investigaciones se ha determinado que la talidomida es un inhibidor del efecto del  $\beta$ FGF, VEGF, TGF- $\beta$  y las citocinas proinflamatorias, como el factor de necrosis tumoral  $\alpha$  y el inhibidor de la 3-hidroxi-3metilglutaril coenzima A que previene la disfunción celular endotelial manteniendo una actividad anticoagulante en la superficie celular y disminuyendo el estrés oxidativo[11], el cuál es el incremento elevado de radicales libres que excede la capacidad de los mecanismos antioxidantes que se dan en el organismo.

#### **5. Conclusión**

Desde que el Dr. Roentgen descubrió la radiación ionizante en 1895, ésta se ha convertido en un reto para el personal médico, puesto que si bien se pueden emplear para fines terapéuticos y de diagnóstico obteniendo grandes beneficios, también la humanidad ha aprendido de una forma brutal los efectos dañinos que esta causa en grandes cantidades o por un largo

periodo de exposición, sin embargo los avances científicos nos ha ayudado a crear normas y filosofías para minimizar el daño biológico producido por la REAF y nos resulta paradójico decir que un detonante de las células cancerígenas como lo es la radiación ionizante, también es utilizado para combatir este mismo mal, como en las sesiones de radioterapia. Esto nos ayuda a comprender que los beneficios obtenidos de este tipo de radiación dependen de la dosis y el tiempo de exposición, la protección radiológica se encuentra en una línea muy delgada entre los beneficios y el daño biológico, misma que no debemos romper.

## Nomenclatura

CNSNS: Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardas

ICRP: Comisión Internacional de Protección Radiológica

REAF: Radiación Electromagnética de Alta Frecuencia

POE: Personal Ocupacionalmente Expuesto

## Referencias

- [1] Mykyta Sokolov, Ronald Neumann. Lessons Learned about Human Stem Cell Responses to Ionizing Radiation Exposures: A Long Road Still Ahead of Us. *Int. J. Mol. Sci.* 2013, 14, 15695-15723
- [2] Artículo 159. De los requisitos y obligaciones del personal ocupacionalmente expuesto. Reglamento general de seguridad radiológica. Estados Unidos Mexicanos; 22 Noviembre 1988 (texto vigente)
- [3] Jeffrey S. Willey, Shane A. J. Lloyd, Gregory A. Nelson, and Ted A. Bateman. Ionizing Radiation and Bone Loss: Space Exploration and Clinical Therapy Applications. NIH-PA. 2012 July 21:1-16
- [4] Marvin Goldman, PhD, Davis. Ionizing Radiation and Its Risks. *WEST. J. MED.* 1982;137 (6):540-547
- [5] Anonymous. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Annals of the ICRP.* Ed 103. ICRP Publication; 2007
- [6] Bridget Sinnott, Elaine Ron, Arthur B. Schneider. Exposing the thyroid to radiation: A review of its current extent, risks, and implications. *PMC.* 2010: 1-46
- [7] Lawrence T. Dauer, Pat Zanzonico, R. Michael Tuttle, Dennis M. Quinn, and H. William Strauss. The Japanese Tsunami and Resulting Nuclear Emergency at the Fukushima. *J. Nuc. Med.* September 1, 2011; vol. 52 (no. 9): 1423-1432
- [8] Mary Alice Statkiewicz Sherer, Paula J. Visconti PhD, and E. Russell Ritenour PhD Workbook for Radiation Protection in Medical Radiography. 6Ed. Mar 9, 2010
- [9] A Hernández Vitoria, P E Millán Cebrián, S Navarrete Campos, y J Banzo Marroco Dosis absorbida de radiación en exploraciones de medicina nuclear y riesgos asociados *Rev. Esp. Med. Nuclear.* 1993 ; vol. 12,1 :13-19
- [10] N Prasad, Phd, C Cole, Phd And M Haase, Md. Radiation protection in humans: extending the concept of as low as reasonably achievable (ALARA) from dose to biological damage. *Br J Radiol.* 2004 : 97-99
- [11] López AI, Aréchiga CFII, Bañuelos RII, Barbosa OYI, Sánchez SHIII , Lazarova ZIVMem. Impact of the oxidative stress on cutaneous lesions caused by ionizing radiations *Inst. Investig. Cienc. Salud.* Junio 2012; Vol. 8(1) : 89-99