

Radiobiología: Mitos, Conceptos y el papel de la Física Nuclear

Andrés Vargas*

Resumen

Se presentan los conceptos físicos relacionados con el estudio de la radiobiología, en base a declaraciones publicadas por la OMS¹ se resume su posición frente a determinadas afirmaciones comunes relacionadas con el uso de la tecnología y la producción de tumores cancerígenos en las personas, finalmente se presenta la teoría física relacionada con la emisión de radiación por parte de agentes naturales y artificiales.

1. Introducción

La radiobiología es la ciencia que estudia los efectos que producen en los tejidos vivos la acción de las *radiaciones ionizantes* las cuales pueden producir *radicales libres* de manera directa o indirecta, a lo largo del artículo desglosaremos ésta afirmación, los elementos químicos son la base de la vida y estos elementos se distinguen entre si debido a su *configuración electrónica*, en la teoría atómica un átomo está compuesto por electrones que se encuentran alrededor del núcleo (no precisamente *orbitando* pues el problema a esa escala no es determinista) la configuración electrónica hace referencia a la disposición de esos electrones en un átomo, un elemento químico se distingue de otro inicialmente debido al número atómico Z el cual indica cuántos protones (cargas positivas concentradas en el núcleo) tiene el átomo, naturalmente un elemento químico tiene igual número de protones y electrones, sin embargo, por medio de diferentes procesos se puede alterar ésta condición, es posible desprender electrones de un átomo, lo que recibe el nombre de *ionización*.

* amvargash@correo.udistrital.edu.co

¹ Organización Mundial de la Salud, en inglés conocida con las siglas WHO (World Health Organization).

2. Ionización

El sodio (Na) cuyo número atómico es 11 tiene por lo tanto 11 protones y 11 electrones, un ion de sodio puede tener 11 protones y 10 electrones, el átomo de sodio no ionizado tiene una carga neta nula (la carga eléctrica del núcleo es $+11e$ y los electrones suman una carga de $-11e$), sin embargo un ion de sodio tiene una carga neta de $+11e - 10e = +1e$, es decir, al ionizar el átomo de sodio se cambió su *configuración electrónica*.

Anteriormente se mencionó que la *configuración electrónica* distingue los elementos químicos, y en consecuencia ésta configuración determina las propiedades químicas de los elementos, por ejemplo si son buenos conductores, o semiconductores, o aislantes, el realizar un cambio en la configuración electrónica equivale a realizar un cambio en las propiedades químicas del elemento, los tejidos vivos son básicamente agrupaciones de moléculas las cuales que cumplen determinada función en un organismo, las moléculas son *arreglos* de átomos de determinado(s) elemento(s), si se logra cambiar las propiedades químicas de un conjunto de átomos (modificando las configuraciones electrónicas) de una molécula, la molécula se verá alterada y por lo tanto se alterará la función del tejido en el organismo, por ejemplo, la formación de tumores se debe a la alteración de la función reproductiva en las células, las cuales terminan teniendo altas tasas reproductivas formando cúmulos de células, el tumor.

3. Radiaciones ionizantes

En la sección anterior se vio por qué la ionización de un átomo puede alterar la función de las células y en consecuencia de los tejidos, existen diferentes mecanismos de ionización de un átomo, uno de ellos es a través de la radiación, la radiación no es un proceso ajeno a la cotidianidad, no es un proceso reservado a los generadores de energía nuclear, el hecho de que usted se encuentre leyendo éste documento es gracias

a la radiación, la luz es radiación en si misma: un continuo flujo de partículas (llamadas *fotones*) que llegan e interactúan con una lente (su ojo) el cual a través de un complejo mecanismo producto de millones de años de evolución convierte en señales eléctricas las cuales el cerebro interpreta símbolos que se diferencian blanco, negro, papel, tinta. Una característica de la radiación es la energía con la cual llega a su ojo, pero recuerde que su ojo no es exclusivo, la radiación incide en todo su cuerpo, pero hablo del ojo porque a través de él puede distinguir diferencias energéticas en la radiación, cada color es radiación con energía diferente, ésta diferencia es realmente mínima y aún así a su cerebro no se le dificulta distinguir claramente y sin dubitación el rojo del azul, como es posible inferir de esto, existe radiación que no vemos a través de los ojos, el infrarrojo es radiación que tiene menor energía que el rojo visible, y no es posible verlas a través del ojo, pero se puede “ver” en el sentido que la piel *percibe* la radiación infrarroja como calor.

El continuo flujo de partículas puede interactuar con la materia e ionizarla, pero *si y sólo si* tiene la energía suficiente para hacerlo, los *fotones* no son las únicas partículas de radiación, existen partículas β_- , β_+ , y α , cuando son muchas partículas se habla entonces de rayos, entonces existen:

- Rayos γ que son fotones con energía suficiente para atravesar bloques de hormigón.
- Rayos β_- que es un flujo de electrones cuya carga neta es $-1e$.
- Rayos β_+ que es un flujo de positrones, partículas cuya carga neta es $+1e$.
- Rayos α que es un flujo de núcleos de Helio, un conjunto de dos neutrones y dos protones (carga neta $+2e$), los cuales debido a su masa y energía no atraviesan una hoja de papel, sin embargo la exposición directa puede causar ionización de tejidos vivos.

4. Producción de radicales libres

Una vez aclarado qué es la radiación, y que radiación ionizante es aquel tipo de radiación que debido a su alta energía puede ionizar la materia, se ingresa al interior del tejido, cuando una partícula de radiación ioniza la materia esto puede generar una reacción en cadena, ya que la molécula ionizada al estar eléctricamente inestable ya que tiene una carga neta no nula, intenta recuperar su estabilidad eléctrica “robando”

la carga de las moléculas vecinas, y estas a otras, a éstos moléculas ionizadas que generan la reacción descrita se les llama *radicales libres*.

Como se vio existen diferentes tipos de radiación pero en la siguiente clasificación la pregunta que importará es: la radiación incidente en el tejido, ¿tiene o no carga eléctrica neta?

Producción directa de radicales libres

Se habla de ionización producida de manera directa cuando se expone el tejido vivo a radiación que contiene una carga eléctrica no nula, es decir, ionización por medio de rayos β_- , β_+ , y α , es directa debido a que la incidencia de éstos tipos de radiación que debido a que tiene carga neta su presencia altera por si misma la carga neta de una molécula alterándola.

Producción indirecta de radicales libres

Se habla de ionización producida de manera indirecta cuando se expone el tejido vivo a a radiación cuya carga eléctrica nula, es decir, ionización debido a la exposición de rayos γ , es indirecta debido a que la incidencia por si misma no produce ionización sino que es debido a la interacción entre una fotón γ y una molécula, si el fotón logra desprender un electrón de un átomo lo ioniza, pero si el trayecto del fotón no fue interrumpido por un átomo la ionización no es posible, a diferencia de la producción directa si un electrón pasa cerca a un átomo si puede ionizarlo debido a que la interacción se produce no sólo debido a choques entre partículas sino también a interacción entre cargas eléctricas.

5. Radiación y Física Nuclear

La emisión de radiación, especialmente radiación α , β_+ , y β_- se originan a partir de procesos ocurridos en el núcleo de átomos radiactivos, el núcleo se compone básicamente de partículas llamadas *nucleones* estos pueden tener carga positiva (*protones*) o ser eléctricamente neutros (*neutrones*), se mencionó anteriormente que el número atómico Z indica la cantidad de protones presentes en el núcleo de un átomo, para tener una descripción más detallada del núcleo existe el número N que representa la cantidad de neutrones presentes en el núcleo, la suma de Z y N se conoce como el número nucleónico (representado por la letra A) ya que representa el número de nucleones en el átomo, éste también es conocido como el número de

masa por ser el número entero más próximo al valor de la masa atómica.

Un *núclido* es un núcleo atómico con un número atómico y un número nucleónico definidos, expresándose así:



donde X es el símbolo del elemento químico, y (como siempre) Z es el número de protones y A el número de nucleones. Por ejemplo es posible encontrar cloro (Cl) con 35 nucleones ${}^{35}_{17}Cl$ y es llamado cloro-35 pues de antemano se conoce que el número atómico del cloro es $Z = 17$,

- Átomos con el mismo número atómico y número nucleónico diferentes son llamados *Isótopos*, un isótopo del hidrógeno 1_1H es el deuterio 2_1H , y un isótopo radioactivo del hidrógeno es el Tritio 3_1H

5.1. Fuerza Nuclear

El núcleo atómico contiene a distancias extremadamente cortas a cargas eléctricas del mismo signo, por lo cual debe existir una fuerza de gran magnitud que logre contrarrestar la repulsión eléctrica existente entre los protones, ésta es la fuerza nuclear que se caracteriza básicamente por:

- No depende de la carga eléctrica, ya que mantiene unidos protones y neutrones, éstos últimos tienen una carga eléctrica nula.
- Es de corto alcance ($\sim 10^{-15}m$) ya que ésta no atrae indefinidamente a protones distantes.
- pares

El núcleo necesita una energía de enlace para mantener unidos a los nucleones lo que ocasiona (debido a la equivalencia entre masa y energía) que la suma de la masa de las partes no se la masa del núcleo, se conocen alrededor de 2500 núclidos, de los cuales sólo 300 son estables (12%).

La carta de Segré muestra los núclidos estables, cuando el número atómico en un núcleo es mayor al número neutrónico la repulsión entre los protones logra romper el núcleo, mientras que si el número neutrónico es mayor al número atómico se presenta un desbalance de energía lo que también provoca el rompimiento del núcleo.

Tipo de radiación	EBR (Sv/Gy) o (rem/rad)
Rayos X o γ	1
Electrones	1.0-1.5
Neutrones lentos	3-5
Protones	10
Partículas α	20
Iones pesados	20

Tab. 1: Efectividad Biológica Relativa (EBR) para cada tipo de radiación. Extraída de [6]

5.2. Dosimetría de la radiación

Existen dos medidas básicas para la radiación, la *dosis absorbida* y la *dosis biológicamente equivalente*, la dosis absorbida hace referencia a la cantidad de energía recibida por unidad de masa de tejido (se da en J/kg o en rad , la equivalencia es de $1rad = 0,01J/kg$), la dosis biológicamente equivalente (también llamada dosis equivalente expresadas en Sv o en rem , $1rem = 0,01Sv$) es la dosis absorbida multiplicada por el factor de efectividad biológica relativa (EBR) el cual indica la cantidad de daño que puede llegar a ocasionar la dosis absorbida, así por ejemplo inicialmente se tendrá aquel tipo de radiación que ocasione ionización indirecta, primero porque la carga es nula igual que su masa, los electrones seguirán en el siguiente lugar ya que tienen carga pero antecederán a los protones debido a su masa (recuerde que la relación existente entre la masa del protón y la masa del electrón es de aproximadamente 2836), los neutrones resultan ser más dañinos biológicamente que los electrones, esto se debe principalmente a que si un neutrón se ve atraído por un núcleo, un átomo en una molécula de un tejido que inicialmente era estable se vuelve inestable convirtiéndose en una fuente radiactiva, seguirán los protones, la radiación α , y los iones pesados, donde es posible observar el incremento de la masa de la radiación.

Respecto a la dosimetría y la búsqueda de relaciones causales entre niveles de exposición y efectos “es difícil de establecer una relación directa entre dosis-respuesta. [...] muchos de los efectos medidos son poco estables en el tiempo”[7].

6. Posiciones de la OMS²

La propagación de la radiación cumple la ley del inverso cuadrado, es decir la intensidad I de radiación

² OMS son las siglas en español de la Organización Mundial de la Salud, en inglés World Health Organization WHO.

es proporcional al inverso cuadrado de la distancia r a la fuente:

$$I \sim \frac{1}{r^2}$$

por lo que aquellos efectos de la exposición pueden disminuirse tan sólo alejándose un poco de la fuente que emite la radiación: teléfonos móviles, microondas, etc, otro aspecto a tener en cuenta, cito literalmente: “Las ondas de radiofrecuencia son campos electromagnéticos pero, a diferencia de las radiaciones ionizantes, como los rayos X o gamma, no pueden escindir los enlaces químicos ni causar ionización en el cuerpo humano.”[2]

6.1. Hornos microondas

La siguiente información se basa en el artículo de la referencia [1].

Los hornos microondas como se puede inferir de su nombre trabajan a través de las microondas, que son ondas electromagnéticas cuya longitud de onda es del orden de los micrómetros ($\sim 10^{-6}m = 1\mu$) que son reflejadas por superficies metálicas (razón por la cual se debe evitar utilizar materiales metálicos para la cocción de los alimentos) y superficies como el vidrio son transparentes a éste tipo de ondas, los hornos microondas calientan el alimento aprovechando la presencia en éste de moléculas de agua, “Las moléculas de agua vibran cuando absorben la energía del microondas y la fricción entre las moléculas resulta en el calentamiento que cocina el alimento.” [1], la exposición a ondas electromagnéticas en el rango de las microondas puede resultar en aumento de la temperatura de los tejidos expuestos y eventualmente (si7 persiste la exposición) en quemaduras, sin embargo, el diseño de los hornos garantiza que si son utilizados con las medidas proporcionadas por los fabricantes las microondas emitidas al exterior de éste se encuentran dentro de los niveles permitidos no nocivos para las personas³, los alimentos expuestos a radiación de microondas se consideran tan sanos como los preparados a través de la estufa tradicional, sin embargo, debido a las diferencias de temperatura originados por la natural diferencia de exposición a las microondas y la diferencia natural de los niveles de agua presentes en los alimentos, éstos pueden aumentar su volumen y si se encuentran al interior de una superficie rígida que bloquee su expansión ésta superficie puede explotar (por ejemplo, no se recomienda calentar un huevo crudo en el microondas con cáscara.), en concreto, el

³ “50 vatios por metro cuadrado (W/m²) en cualquier punto alejado 5 cm de las superficies externas del horno”[1].

uso de hornos microondas es seguro mientras éste se encuentre en perfecto estado y se cumpla con las especificaciones de uso proporcionadas por el fabricante.

6.2. Teléfonos móviles

La siguiente información se basa en el artículo de la referencia [2].

La CIIC⁴ cataloga el uso de los teléfonos móviles como posible causa de cáncer en los seres humanos, sin embargo la WHO cuestiona los resultados de los estudios en los que se apoya ésta clasificación, en el transcurso del año 2012 se espera que la OMS realice estudios más detallados acerca del tema, como se mencionó al inicio de ésta sección la intensidad de la radiación disminuye con la distancia a la fuente, por lo que al usar teléfonos móviles se recomienda el uso de los dispositivos de “manos libres”, al igual que los hornos microondas los teléfonos móviles trabajan con radiofrecuencia por lo que sus efectos principales es el aumento de la temperatura de los tejidos, sin embargo, a la fecha “no hay pruebas fehacientes de que la exposición a campos de radiofrecuencia de nivel inferior a los que provocan el calentamiento de los tejidos tenga efectos perjudiciales para la salud.”[2]

6.3. Radiación UV

La siguiente información se basa en el artículo de la referencia [4].

En el espectro electromagnético la radiación puede distinguirse por su cantidad de energía que está directamente relacionada con la frecuencia de radiación, el nivel de referencia suele ser la luz visible, los ondas microondas y las ondas de radio se encuentran por debajo del rango de visión que comienza en el rojo (la frecuencia más baja del visible) y termina con el azul (la frecuencia más alta del visible), la radiación ultravioleta (más allá del violeta) es más energética que la luz azul, por lo que es posible evidenciar una diferencia notable con la cantidad de energía en las ondas cuando se habló de hornos microondas y teléfonos móviles, respecto a los efectos sobre la exposición de los tejidos vivos del ser humano a éste tipo de radiación:

- “Entre las principales consecuencias de una exposición excesiva a la radiación ultravioleta figuran el cáncer de piel, las lesiones oculares y el envejecimiento prematuro de la piel. [...] puede reducir la eficacia del sistema inmunitario, lo

⁴ Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer

que podría aumentar el riesgo de enfermedades infecciosas”[3]

La capa de ozono se encarga de absorber parcialmente la radiación UV proveniente del sol, la consecuencia directa del adelgazamiento de ésta capa es el aumento de la intensidad de rayos UV que incide en la superficie terrestre, intensidad que se ve afectada por otros factores como la hora del día y la posición geográfica del lugar de la exposición, como suele suceder es la exposición excesiva lo que provoca daños, sin embargo la radiación UV es necesaria para la producción de vitaminas necesarias para una “piel saludable”. Respecto al uso de protectores solares la OMS afirma “La mejor protección se logra resguardándose a la sombra y vistiendo ropa protectora en vez de aplicar filtros solares.” [4]

6.4. Cámaras de bronceado

La siguiente información se basa en el artículo de la referencia [3].

A diferencia de los hornos microondas y los teléfonos móviles, cuando se habla de cámaras de bronceado se habla implícitamente de exposición a radiación ultravioleta (UV), entre la radiación que proviene del sol aunque la mayoría se encuentra en el visible, también se recibe radiación UV, la diferencia entre ésta radiación y la producida por hornos microondas y teléfonos móviles se especificó en el ítem anterior, con el fin de ser lo más claro y puntual respecto a las cámaras de bronceado se cita literalmente a la OMS en el artículo destinado a tal fin:

- “uno de cada tres casos de cáncer en el mundo es de piel”
- “se estima que cada año se producen en el mundo 132 000 casos de melanoma maligno (el cáncer de piel más dañino que existe) y mueren aproximadamente 66 000 personas por causa de éste y otros tipos de cáncer de piel.”
- “estudios recientes demuestran que hay una relación directa entre el uso de camas solares y el cáncer de piel.”
- “La OMS recomienda que únicamente se considere la posibilidad de utilizar camas solares bajo control médico en casos muy excepcionales y específicos.”

Todos éstas afirmaciones fueron extraídas de la referencia [3].

7. Monitores de Vídeo

La siguiente información se basa en el artículo de la referencia [5].

Estudios relacionados con los efectos de los monitores de vídeo sobre la salud humana fueron consecuencia de la creencia de que la introducción de éste tipo de monitores (particularmente pantallas de computadora) en ambientes de trabajo eran causas de las enfermedades comunes en éste entorno, los estudios “han sugerido que el ambiente de trabajo, y no las emisiones de CEM [Campos electromagnéticos/radiación electromagnética] de los monitores de vídeo pueden ser un factor determinante de posibles efectos en la salud relacionados con el uso de los monitores de vídeo.” Estudios relacionados han determinado lo siguiente:

- No ha sido posible relacionar abortos, malformaciones en el vientre o efectos en la reproducción humana con la radiación proveniente de monitores de vídeo.
- No se ha encontrado relación alguna entre las enfermedades del ojo, sin embargo, en condiciones extremas las radiaciones provenientes de los monitores de vídeo pueden producir fatiga visual y dolores de cabeza.
- Erupciones y/o picazón en la piel no se relacionan con la radiación emitida por monitores de vídeo.

Se han comercializado artículos que ofrecen protección ante la radiación ante esto la OMS afirma que estos no tienen ningún efecto de protección y no recomienda su uso excepto a aquellos que reducen el brillo que es causa de la fatiga visual. El espectro emitido por monitores de vídeo incluye pequeñas cantidades de radiación UV no superiores a la radiación natural en un día de invierno, y rayos X de baja energía los cuales no alcanzan a penetrar la pantalla de cristal.

8. Conclusiones

- La exposición excesiva a la radiación ultravioleta es causa de cáncer de piel.
- La dificultad del estudio en radiobiología se debe principalmente a los efectos estocásticos de la exposición.
- Los efectos no estocásticos (relaciones causales) sólo se han presentado para niveles altos de radiación como en el caso de la radiación UV prove-

niente de las camas solares y las exposiciones que conducen a la muerte de tejidos o del individuo.

Referencias

- [1] OMS (2005). Campos electromagnéticos & salud pública: hornos microondas. Recuperado el 23 de noviembre de 2011 de la página web la organización mundial de la salud: http://www.who.int/peh-emf/publications/facts/info_microwaves/es/
- [2] OMS (2011). Campos electromagnéticos & salud pública: teléfonos móviles. Recuperado el 23 de noviembre de 2011 de la página web de la organización mundial de la salud: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs193/es/index.html>
- [3] OMS (2005). La Organización Mundial de la Salud desaconseja el uso de camas solares a las personas menores de 18 años. Recuperado el 23 de noviembre de 2011 de la página web de la organización mundial de la salud: <http://www.who.int/mediacentre/news/notes/2005/np07/es/index.html>
- [4] OMS (2009). Las radiaciones ultravioleta y la salud humana. Recuperado el 23 de noviembre de 2011 de la página web de la organización mundial de la salud: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs305/es/index.html>
- [5] OMS (1998). Campos electromagnéticos & salud pública: monitores de video. Recuperado el 26 de diciembre de 2011 de la página web de la organización mundial de la salud: http://www.who.int/docstore/peh-emf/publications/facts_press/sfact/fs201.htm
- [6] Sears, F. et al (1999) Física Universitaria Vol II, 9ª Edición. P. 1395
- [7] LÓPEZ, B. (2008). Dosimetría Biológica: Principios y Utilidad. *En Revista electrónica de radiobiología.*