

Efectos de la radiación electromagnética en la piel

Cardona-Hernández MA¹, Fierro-Arias L⁴, Cabrera-Pérez AL², Vidal-Flores AA³

Resumen

En la vida cotidiana, los seres humanos nos encontramos expuestos constantemente a varios tipos de radiaciones, entre ellas, a las electromagnéticas ionizantes y no ionizantes. Además de la fuente principal de radiación natural que es el Sol, la industrialización y nuevas tecnologías aplicadas a la vida moderna nos exponen a dispositivos que emiten radiación dentro del espectro electromagnético. La piel es la primera barrera del cuerpo contra la radiación nociva de estas energías, que provoca una función de regulación electrodérmica y que tiene efectos biológicos demostrables. Hasta el momento, no se conocen los mecanismos exactos por los cuales respondemos a estos fenómenos y se ha propuesto que dependen de la actividad de los mastocitos, las células de Merkel y los queratinocitos. En esta revisión se describen los tipos de radiación electromagnética, sus efectos celulares, los mecanismos de respuesta y los daños en la piel conocidos hasta ahora.

PALABRAS CLAVE: radiación electromagnética, energía artificial, efectos celulares en la piel.

Dermatol Rev Mex 2017 July;61(4):292-302.

Effects of electromagnetic radiation on skin.

Cardona-Hernández MA¹, Fierro-Arias L⁴, Cabrera-Pérez AL², Vidal-Flores AA³

Abstract

Humans are constantly exposed to several types of radiation, including both ionizing and non-ionizing electromagnetic radiation. In addition to the Sun, the main source of natural radiation, industrialization and new technologies applied to modern life expose us to devices that also emit radiation within the electromagnetic spectrum. The skin is the first barrier of the body against harmful type of energy, causing a function of electrodermal regulation triggering demonstrable biological effects. So far the exact mechanisms whereby we respond to these phenomena are unknown, but it has been proposed that depend on the activity of mast cells, Merkel cells and keratinocytes. In this review the types of electromagnetic radiation, its cellular effects, response mechanisms and damage to the skin known heretofore are described.

KEYWORDS: electromagnetic radiations; artificial energy; skin cellular effects

¹ Cirujano dermatológico-oncólogo.

² Residente de cuarto año.

³ Residente de tercer año.

Centro Dermatológico Dr. Ladislao de la Pascua, Ciudad de México.

⁴ Cirujano dermatológico-oncólogo, Hospital General de México Dr. Eduardo Liceaga, Ciudad de México.

Recibido: julio 2016

Aceptado: agosto 2016

Correspondencia

Dr. Miguel Ángel Cardona Hernández
dr.miguelcardona08@gmail.com

Este artículo debe citarse como

Cardona-Hernández MA, Fierro-Arias L, Cabrera-Pérez AL, Vidal-Flores AA. Efectos de la radiación electromagnética en la piel. Dermatol Rev Mex. 2017 julio;61(4):292-302.

ANTECEDENTES

En 1895, Wilhelm Röntgen reportó por primera vez una nueva forma de energía a la que llamó “rayos X”; esta letra hacía alusión a lo poco que se conocía acerca de este tipo de radiación. A partir de 1912, se sabe que corresponde a un grupo de radiación que integra al espectro electromagnético, éste incluye a los rayos gamma en un extremo, que son los más energéticos, seguidos de los rayos X, la luz ultravioleta (UV), luz visible, microondas y ondas de radio, las de mayor longitud de onda y menor energía.¹ A través del tiempo, han sido diversas las aplicaciones tecnológicas y terapéuticas de los distintos elementos de la radiación electromagnética. Al poco tiempo de aparecer los primeros equipos de rayos X para toma de radiografías, en Estados Unidos surgieron salones de belleza que usaban esa emisión para realizar depilaciones con fines cosméticos y en 1925 había en ese país alrededor de 75 máquinas llamadas *Tricho System*. Su uso fue prohibido a los pocos años, pues se comprobó que una gran dosis única de radiación o muchas dosis pequeñas de manera repetitiva se relacionaban con la aparición de lesiones en la piel, como cambios en la pigmentación, queratosis, úlceras y carcinomas cutáneos.²

Debido a que estas formas de energía frecuentemente interactúan con el ser humano a través de la piel, es importante para el dermatólogo conocer, identificar y tratar de manera temprana reacciones que pudieran ser dañinas para la salud cutánea. Según el tipo, duración e intensidad de la radiación, es posible identificar efectos agudos o crónicos, como reacciones transitorias de eritema, hiper o hipopigmentación, xerosis, eccema, atrofia e incluso la inducción de neoplasias. Estos daños pueden ser producidos por energía ocasionalmente invisible y no producen ninguna sensación en los individuos.¹

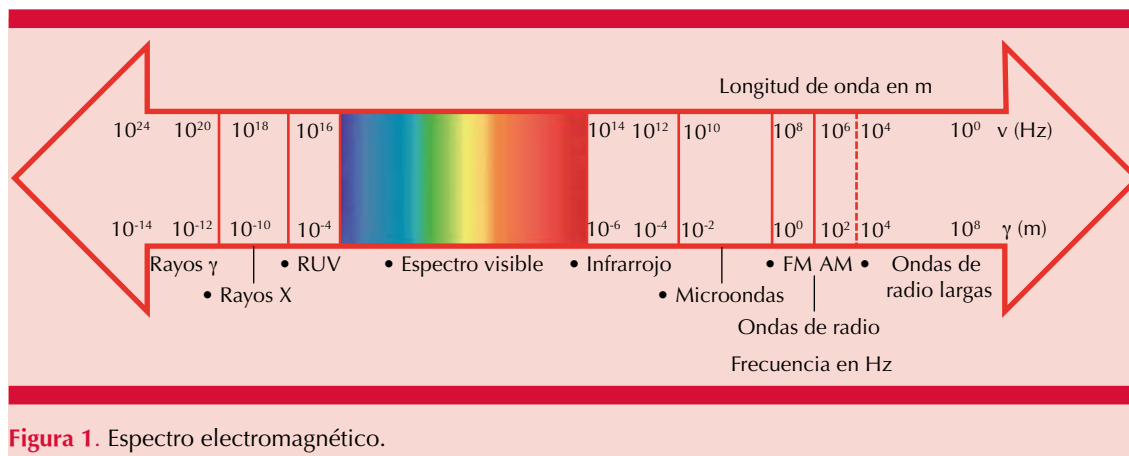
Formas de energía electromagnética

La radiación electromagnética está formada por “paquetes” de energía, partículas de “masa-cero”, denominados fotones; mientras más corta sea la longitud de onda, mayor será su energía.¹ El espectro electromagnético divide a las radiaciones en dos grandes grupos: las ionizantes y las no ionizantes. La forma más conocida de energía electromagnética es la luz solar, cuya frecuencia de luz visible puede ser tomada como línea divisoria entre la radiación ionizante, capaz de ionizar la materia, de alta energía y frecuencia (rayos gamma, rayos X, luz ultravioleta) y la no ionizante, de baja energía y frecuencia (luz visible, infrarroja, microondas y radiofrecuencias).^{3,4}

El espectro electromagnético está conformado por radiación que se diferencia de acuerdo con su energía. Debido a que la luz tiene propiedades de onda, la energía es proporcional a la frecuencia e inversamente proporcional a la longitud de onda. Así, la radiación electromagnética se clasifica en orden ascendente de energía en ondas de radio, microondas, radiaciones Terahertz, infrarroja, luz visible, luz ultravioleta (UV), rayos X y rayos gamma (**Figura 1**).³

Además de radiación electromagnética, nos llegan del espacio partículas sólidas, conocidas como rayos cósmicos. En general, no logran atravesar la atmósfera, pero cuando lo hacen pueden ser dañinas para la piel, pues son altamente energéticas.

La radiación electromagnética tiene propiedades de ondas y de partículas. Cuando un fotón es capaz de ionizar un átomo se le conoce como efecto fotoeléctrico. Cuando cualquier forma de radiación electromagnética interacciona con el tejido, se producen dos efectos principales: el primero implica que si la radiación es altamente energética, habrá relación con los átomos tisula-



res y se generará ionización; en el segundo, si la radiación incidente no es de alta carga energética, las moléculas del tejido incrementarán su vibración, lo que se manifestará como calor. Los rayos X, gamma y radiación ultravioleta tienen longitudes de onda cortas y gran carga energética; en contraste, la luz visible y ondas de radio tienen ondas largas con menor energía. Por tanto, si los paquetes de energía de rayos gamma, X, luz UV o rayos cósmicos interactúan con la materia, sufrirán ionización. La luz visible, la radiación infrarroja y las microondas interactúan con la materia y producen calor.¹

En el espacio que rodea a una carga eléctrica se forma un campo electrostático con determinadas propiedades físicas y, de igual forma, en el entorno de un conductor con corriente eléctrica se forma un campo especial denominado campo magnético.^{4,5} Cuando una carga eléctrica se desplaza respecto a otra, o cambia de magnitud, variará el campo eléctrico creado entre ambas, y se percibirán al mismo tiempo acciones magnéticas y eléctricas generándose un campo electromagnético.⁵ Los campos electromagnéticos producidos por fuentes naturales como en las galaxias, el Sol y otras estrellas, son distintos a los que adicionalmente nos exponemos de manera cotidiana y que son producidos por medios artificiales, exponiéndonos a radiación adicional; sin ellos, la vida moderna

actual no sería posible. Ejemplo de ello son los implementos de las áreas de electrónica, telecomunicaciones y electricidad, que corresponden a los emisores de radiaciones no ionizantes, y se agrupan por su potencia en radiofrecuencias de baja, mediana, alta y muy alta frecuencia. En este grupo se encuentran las ondas usadas en telecomunicaciones, como radio, televisión, telefonía celular y microondas (Figura 1).⁴

Interacción de la radiación electromagnética con los tejidos

El fotón (del griego *phōs* = luz) es la partícula elemental portadora de todas las formas de radiación electromagnética y viaja en el vacío con una velocidad constante c^6 igual a 300 mil kilómetros por segundo. Al llegar a la superficie celular de los seres vivos, los fotones pueden ser absorbidos, reflejados o dispersados; la primera es la condición más importante, pues determina la distribución de la intensidad de energía en la célula; al ser absorbidas, estas partículas interactúan con moléculas orgánicas llamadas foto-moléculas y el ejemplo más claro de ello es lo que sucede en la fotosíntesis.⁷⁻⁹

Es bien conocido que las radiaciones UV son agentes físicos causantes de mutaciones en diversos organismos de nuestro planeta y están francamente ligadas a los procesos de fotocarci-

nogénesis. Al absorberse los fotones, la energía que éstos portan es transferida a compuestos biológicos denominados cromóforos, a partir de ello hay cambios moleculares fotoinducidos; se desencadena una cascada de eventos que transforman la foto-energía en una señal bioquímica, que tras una serie de reacciones provocan cambios celulares y, en consecuencia, daño al ADN.^{7,10}

De manera similar, la dispersión y conversión interna de otras formas de energía, comprendida dentro del espectro de la radiación electromagnética, que es emitida por diversas fuentes y dispositivos médicos, genera un cambio en el potencial de membrana, con fenómenos de oxidación y llegada de protones a la mitocondria para la producción de ATP.¹¹ La conexión en los sistemas biológicos, entre la radiación electromagnética y el concepto “cuanto” (cambio del nivel energético de una materia al emitir o absorber radiación) ha llevado a dilucidar una nueva forma de comunicación e interacción celular.^{8,9}

A partir de los trabajos de Alexander Gurwitsch en el siglo pasado, estudios más recientes de comunicación intercelular muestran que la radiación electromagnética está implicada en los sistemas biológicos e influye de manera significativa en los procesos celulares de división, proliferación, metabolismo oxidativo, fotosíntesis y probablemente en la carcinogénesis.¹²

La piel, nuestro órgano más extenso, genera un voltaje en toda la superficie corporal conocido como potencial transepidérmico, y esta “batería cutánea” continúa siendo poco explorada y entendida hasta la actualidad. Con tecnología de microelectrodos, se ha demostrado que algunas células, como los macrófagos, leucocitos, osteoblastos, osteoclastos, fibroblastos, células epiteliales, células de la cresta neural y células cancerígenas muestran migración estimulada por campos eléctricos. Este fenómeno, llamado

galvanotaxia, se ha estudiado sobre todo en los mecanismos de cicatrización. La capacidad de los queratinocitos para detectar campos eléctricos depende de la participación de diversas moléculas y vías de señalización, destacando el flujo de calcio como primer requisito y de proteincinasas y receptores de factores de crecimiento.^{13,14}

La interacción de la radiación electromagnética no ionizante con los sistemas biológicos se ha investigado ampliamente, sobre todo en modelos animales. Aunque existen reportes de sus efectos en pequeñas muestras poblacionales, no han sido concluyentes en el análisis de los daños al ADN y líneas germinales; así como en genotoxicidad en fibroblastos cultivados y piel artificial.¹⁵

El término “hipersensibilidad electromagnética”, que experimentan algunas personas, se ha propuesto para reconocer síntomas como cefalea, alteraciones del sueño, problemas cutáneos, cardiovasculares y neurológicos, que se desencadenan al encontrarse en exposición a campos electromagnéticos (microondas y ondas de radio), e identificándolos como causa de sus malestares.^{3,15,16}

Tecnología y electromagnetismo

La red de telecomunicaciones incluye campos y ondas electromagnéticas que llevan señales de una fuente determinada a un destino final; éstas pueden ser sonidos, voces, información digital o imágenes. El campo electromagnético se propaga a la velocidad de la luz y puede ser modulado, transmitido o recibido mientras se selecciona la información necesaria. Las ondas que se usan en teléfonos y comunicación celular (que también son ondas electromagnéticas) son fuentes de radiación que no deben confundirse con las frecuencias de las ondas de radio o radiofrecuencia.

La radiofrecuencia usada para comunicación móvil se sitúa en el rango de 450-2,200 MHz que corresponde a las microondas (**Figura 2**).¹⁷ El uso de estas señales, generadas por la radio, la televisión y sistemas de comunicación móvil, aumenta de manera cotidiana en el planeta y, en consecuencia, la radiación electromagnética. Los efectos de la exposición humana a esas señales continúa siendo tema en controversia, pues estudios epidemiológicos y en animales han tenido resultados diversos, encontrándose daños en las células y una posible asociación carcinogénica.^{3,18-21}

Efectos genotóxicos

Los efectos genotóxicos de la radiación electromagnética en mamíferos, como aneuploidía, intercambio de cromátidas hermanas y recombinación cromosómica alterada, se han demostrado en ciertas líneas celulares. En estudios más recientes se identificaron alteraciones en la línea germinal masculina, fibroblastos humanos, sistema óseo en ratas e incluso en el ADN, aún así, los efectos globales persisten en controversia.²²⁻²⁶ Debido a que la mutación de las células somáticas representa el paso inicial en el proceso de la carcinogénesis, la existencia de campos electromagnéticos que puedan inducir alteraciones genéticas genera el cuestionamiento

acerca de su potencial efecto dañino al organismo.⁵ Al parecer, estudios *in vitro* corroboran que el daño genotóxico potencial de la radiación electromagnética no se genera por efectos de calor, sino por la exposición intermitente de campos electromagnéticos de baja frecuencia y con una relación tiempo-dependiente; esto se debe a que las exposiciones constantes y repetidas generan una ruptura uni o bicatenaria del ADN, que cada vez es más difícil reparar, que varía con las condiciones ambientales y con las actividades laborales u ocupacionales.²⁷

Riesgos para la salud relacionados con la radiación electromagnética

La exposición externa a radiaciones no ionizantes de telecomunicaciones se mide en términos del campo eléctrico (V/m), campo magnético (A/m o teslas) y densidad de potencia (W/m²); la exposición de los tejidos a radiaciones se determina por la tasa de absorción específica en watts por kilogramo (W/kg).^{3,23,28,29} La radiación emitida por estaciones fijas provoca exposición involuntaria de toda la economía corporal y en éstas las radiaciones no ionizantes normalmente están muy por debajo de los niveles de riesgo. Por otro lado, las estaciones portátiles, como los teléfonos móviles, causan exposición en la cabeza y en otras zonas del cuerpo cuando están

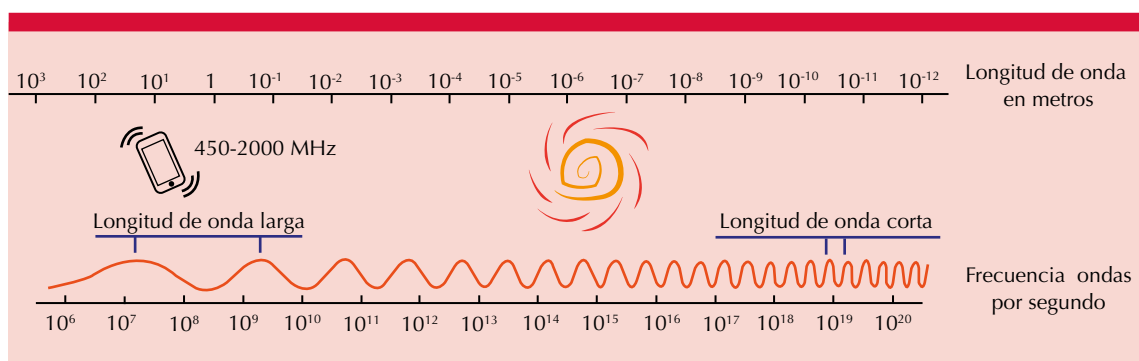


Figura 2. Comunicación móvil.

en función de manos libres; el rango de emisión de estos sistemas varía entre 400 y 2,000 MHz (**Figura 3**). En algunos cálculos se ha estimado que la potencia absorbida en la cabeza por el uso de estos dispositivos puede llegar a ser, incluso, de 40%.²⁹

Se infiere, entonces, que según la fuerza del campo electromagnético, frecuencia, forma de onda, modulación y duración de la exposición a este tipo de señales, puede modificarse la actividad electrodérmica de la piel, pues la actividad de las glándulas sudoríparas estimuladas por el sistema simpático-colinérgico se integra a estados cognitivos y emocionales.³⁰

El trabajo realizado por autoridades de California, Estados Unidos, en 2001 y 2002, comunicó los resultados de evaluación de criterios para la posible relación causa-efecto entre la exposición a radiación electromagnética no ionizante

y ciertas enfermedades. Se concluyó que estas radiaciones tienen un factor etiológico probable categoría 2B (probabilidad de asociación mayor de 50%) en padecimientos como la leucemia en niños, el cáncer cerebral en adultos, abortos espontáneos y esclerosis lateral amiotrófica.^{15,31}

Acerca de este tema, Moulder y colaboradores³² realizaron un metanálisis en 2005 de la posibilidad de que la energía de radiofrecuencia por telecomunicación móvil sea agente causal del cáncer; concluyeron que la evidencia global hasta ese momento era escasa y no convincente. Esto se debe a que no existen suficientes estudios que prueben la relación carcinogénica con certeza, ninguno de los estudios epidemiológicos ha tenido la duración suficiente y no ha existido una medición de la exposición que sea exacta.³²

Los estudios de Tchernitchin y colaboradores¹⁵ y de Gandhi y colaboradores³³ reportaron análisis

Radiaciones no ionizantes				Radiaciones ionizantes	
Radiofrecuencias		Microondas	Luz		
Transporte ferroviario <60 Hz	Líneas eléctricas 50-60 Hz	Computadoras 60 Hz	Pantallas de televisión 15 000 Hz	Radio AM 1 000 000 Hz	Radio FM 100 000 000 Hz
				Teléfono móvil 1 800 000 000 Hz	
					Hornos de microondas 2 450 000 000 Hz
					Luz visible 500 000 000 000 000
					Rayos X 100 000 000 000 000 000
					Rayos γ >1 000 000 000 000 000 000 000
					

Figura 3. Ejemplos de fuentes de campo electromagnético.

in vivo que muestran una correlación estadísticamente significativa entre el uso de telefonía móvil y el daño al ADN. En el segundo estudio usaron un modelo antropomórfico, útil para la certificación de telefonía celular en Estados Unidos; se midieron los rangos de absorción de radiación emitida por estos dispositivos; concluyeron que se subestima la radiación absorbida por el ser humano al transpolar los resultados observados en el maniquí, especialmente en niños, en los que se estima un rango de 153% debido a la mayor proporción del tamaño de su cabeza. Recomendaron un nuevo proceso de certificación y que los niños no usen el teléfono cercano a la cabeza, sino el sistema de manos libres.³³

De manera reciente, en el ámbito médico ha tenido auge el uso de dispositivos de espectroscopia y proyección de imágenes en tercera dimensión; estos implementos emiten frecuencias en Terahertz, cuya frecuencia espectral está entre las microondas e infrarrojas. Es un tipo de radiación que no penetra más allá de la piel humana.³⁴ En 2013 Hintzsche y colaboradores³⁵ reportaron que no se identifican rupturas o daño cromosómico en células epidérmicas *in vitro* tras ser sometidas a radiación por Terahertz de baja intensidad.

Evidencias de efectos de la radiación electromagnética en la piel

Los campos electromagnéticos producidos por una fuente cercana al cuerpo pueden causar efectos biológicos térmicos y no térmicos; éstos pueden variar dependiendo de la fuerza del campo, la frecuencia, longitud de onda, modulación y duración de la exposición. Un ejemplo de ello es la evidencia de que la radiación pulsada de microondas de baja intensidad, emitida por los celulares, puede modular la actividad electrofisiológica *in vivo* y ser inferida por la actividad electrodérmica.³⁰

Debido a que la piel es la primera barrera ante la radiación electromagnética, y que no se conocen con exactitud los mecanismos por los que se producen efectos en ella, se han realizado estudios para determinar su influencia biológica a través de diversos métodos, como de partículas finas metálicas y evaluaciones *in vitro* e *in vivo*.³⁶ Se han propuesto teorías en que los mastocitos y la histamina funcionan como principales efectores de las respuestas, y que puede haber aumento de la exocitosis en células de Merkel.³⁷ Los queratinocitos son células cutáneas esenciales que tienen propiedades físico-químicas particulares y son las primeras que entran en contacto con este tipo de energía. Se han observado cambios morfológicos y funcionales en ellos, como es la reorganización en los fosfolípidos de la membrana plasmática; esta evidencia apoyaría la idea de que existe producción de nuevas sustancias para interacción celular, como es la proteína de adhesión b4-integrina.³⁸

De los distintos tipos de radiación electromagnética, la de tipo no térmico, emitida por la telefonía celular, es la que más se ha estudiado respecto a sus posibles riesgos en la piel. Se han reportado en la bibliografía varios signos y síntomas asociados, como: alteraciones visuales y auditivas, fatiga, insomnio, dolor muscular, enrojecimiento de cara-cuello y erupciones inespecíficas, con un mecanismo patogénico aún no bien dilucidado.²⁸

Ante estudios contradictorios previos de los efectos de la radiación electromagnética en diferentes modulaciones genéticas (como la expresión de oncogenes y la regulación de transcripción genómica), Ennamany y colaboradores³⁹ observaron en un modelo de epidermis humana reconstituida que este tipo de energía induce una modulación transcriptiva positiva de diferentes genes, similar a lo que sucede con la radiación UV. Encontraron que la neuromedina B, un neuropéptido que no se había reportado en queratinocitos, es un factor

mitogénico que activa una cascada de proteincinasas, que regula factores de señalización celular en los mamíferos.

En 2013 Simon y colaboradores⁴⁰ modificaron el experimento citado, agregando melanocitos cultivados y observaron diferentes tasas de absorción en piel pigmentada y no pigmentada, tras diferentes tiempos de exposición a radiación electromagnética. Concluyeron que frecuencias de 900 MHz sobre la piel no generan un estrés celular significativo (efectos biológicos no térmicos), pero sí una alteración transitoria sutil de la diferenciación epidérmica y que esto podría, en exposiciones subsecuentes y repetidas, alterar la capacidad protectora de la piel contra factores externos. Esto coincidiría con los argumentos de que las radiaciones de microondas son factores de riesgo ambientales para la aparición temprana de padecimientos como la dermatitis atópica; así también, que la exposición aguda a estas ondas de frecuencia puede generar cuadros urticariformes en pacientes atópicos o con diagnóstico de rosácea, por incremento de la inmunoglobulina E, sustancia P y péptido intestinal vasoactivo.

En el ámbito dermatológico, se han estudiado las implicaciones terapéuticas de la radiación electromagnética en el proceso de reparación de heridas. Desde 1992, Stiller y colaboradores⁴¹ reportaron los beneficios de un dispositivo portátil que generaba un campo electromagnético de baja frecuencia como una alternativa para el tratamiento no quirúrgico de úlceras venosas resistentes. Estudios más recientes en animales demuestran que los campos magnéticos y electromagnéticos pueden modular el efecto de reparación celular de manera no térmica.⁴² Análisis de modelos *in vitro* revelaron que el efecto de campos electromagnéticos de baja intensidad (1 GHz) regula de manera positiva la expresión del factor de crecimiento de fibroblastos, con lo que aumenta su proliferación y participa de manera crítica en el proceso de cicatrización.⁴³

Otros estudios identificaron el incremento en la proliferación de células madre en la epidermis (su principal reservorio), mismas que participan en la reparación tisular, al activar señales endógenas y factores exógenos; este proceso es dependiente de la frecuencia administrada por un campo electromagnético.^{44,45} Se ha observado con técnicas especiales de cromatografía en tejido animal, que al exponerlo a campos de baja intensidad, puede modificarse la concentración de hidroxiprolina.⁴⁶

Desde el decenio de 1970, se describieron los problemas cutáneos relacionados con el uso de monitores de computadoras, en ellos se han encontrado similitudes con los producidos por la exposición a luz UV o radiaciones no ionizantes, considerándose, incluso, un problema ocupacional.^{47,48} La "dermatitis de pantalla" (*screen dermatitis*) puede manifestarse con signos y síntomas semejantes a los de la rosácea, con eritema, edema, pápulas, pústulas, prurito, dolor y picazón.⁴⁸ No se ha determinado un mecanismo etiológico exacto, pero se ha observado que en personas expuestas a equipos de cómputo puede haber disminución en el número de células de Langerhans y aumento del número de mastocitos y secreción de histamina; sin embargo, hay dudas de si esto es un efecto biológico aislado o se debe a cambios ambientales concomitantes, pues es un evento más frecuente en individuos atópicos o con piel sensible.^{48,49}

En 2012, Bellieni y colaboradores⁵⁰ señalaron que por seguridad, especialmente durante el embarazo, debería evitarse el contacto estrecho (en el regazo) con equipos de cómputo portátiles y sus eliminadores, ya que puede existir mayor exposición a los campos electromagnéticos.

CONCLUSIONES

El desarrollo tecnológico en el planeta y el estilo de vida de la sociedad actual han generado

innovación en el uso de diversos dispositivos de comunicación, imagen, de las áreas médica, científica y otras, que emiten al ser humano radiaciones ionizantes y no ionizantes.

Debido a que la barrera cutánea es el primer contacto ante este tipo de energías, el dermatólogo debe estar consciente de los efectos biológicos que pueden tener en la piel, el órgano más grande del cuerpo. Aunque se ha avanzado considerablemente en su entendimiento, mayores investigaciones al respecto podrían esclarecer la naturaleza, mecanismo y consecuencias que las distintas radiaciones electromagnéticas ejercen en los tejidos. Esto serviría para implementar medidas y estrategias de prevención y tratamiento para la población en riesgo.

Agradecimientos

A la Dra. Julieta Fierro Gossman por la asesoría científica.

REFERENCIAS

1. Testa ER, Cooper JS. Adverse cutaneous effects of ionizing and non-ionizing electromagnetic radiation. *J Dermatol Surg Oncol* 1980;6:210-213.
2. González A. Radiaciones electromagnéticas: ¿dañinas o benéficas? *Rev Cub Fís* 2010;27:203-207.
3. Revueltas AM, Ávila RI, Baqués MR, Beltrán RRC. Extremely low frequency electromagnetic fields and their impact on human health. *Rev Cub Hig Epidem* 2014;52:210-227.
4. Pérez-Alejo JL, Miranda-Leyva R. Electromagnetic radiations and health in medical research. *Rev Cub Med Mil* 2006;35:1-7.
5. Aponte G, Cadavid-Ramírez H, Moncada ME. Los campos magnéticos de 60 Hz y sus posibles efectos en la salud. *Ing Comp* 2003;5:44-52.
6. Jaramillo-Flórez SA. Interacción electromagnética fotón-electrón en tejidos biológicos. *Rev Col Fís* 2009;41:402-405.
7. Mahmoud BH, Hexsel CL, Hamzavi IH, Lim HW. Effects of visible light on the skin. *Photochem Photobiol* 2008;84:450-462.
8. Lambert N, Yueh-Nan C, Yuan-Chung C, et al. Quantum biology. *Nature Physics* 2013;9:10-18.
9. Arndt M, Juffmann T, Vedral V. Quantum physics meets biology. *HFSP J* 2009;3:386-400.
10. Salem MA. Protective effect of vitamin "A" against skin injury caused by exposure to electromagnetic field histological and histochemical studies. *Egypt J Hosp Med* 2008;32:352-366.
11. Ceyhan AM, Akkaya BV, Güleçol ŞC, et al. Protective effects of β -glucan against oxidative injury induced by 2.45-GHz electromagnetic radiation in the skin tissue of rats. *Arch Dermatol Res* 2012;304:521-527.
12. Belousov LV, Opitz JM, Gilbert SF. Life of Alexander G. Gurwitsch and his relevant contribution to the theory of morphogenetic fields. *Int J Dev Biol* 1997;41:778-779.
13. Foulds IS, Barker AT. Human skin battery potentials and their possible role in wound healing. *Br J Dermatol* 1983;109:515-522.
14. McCaig CD, Rajnicek AM, Song B, Zhao M. Controlling cell behavior electrically: current views and future potential. *Physiol Rev* 2005;85:943-978.
15. Tchernitchin AN, Gaete L, Romero V, Pinilla M. Health effects of non-ionizing electromagnetic radiation, and the specific case of the effects of mobile telephony. *Cuad Méd Soc (Chile)* 2011;51:187-217.
16. Tuengler A, von Klitzing L. Hypothesis on how to measure electromagnetic hypersensitivity. *Electromagn Biology Med* 2013;32:281-290.
17. Abualgassim JA, Hala EI. Electromagnetic radiation evaluations of some cellular base stations in Kasala. *IOSR J Electr Commun Engineering* 2016;11:53-60.
18. Cruz VM. Health risk to non-ionizing radiation by the electricity networks in Peru. *Rev Peru Med Exp Salud Publica* 2009;26:104-112.
19. Karinen A, Heinävaara S, Nylund R, Leszczynski D. Mobile phone radiation might alter protein expression in human skin. *BMC Genomics* 2008;9:77.
20. Mason PA, Walters TJ, DiGiovanni J, et al. Lack of effect of 94 GHz radio frequency radiation exposure in an animal model of skin carcinogenesis. *Carcinogenesis* 2001;22:1701-1708.
21. Castro M, Perera R, Pedrouzo J, et al. Campos electromagnéticos y salud: Exposición a CEM de baja frecuencia en oficinas y laboratorios de computación. *Ingeniería Energética* 2007;28:3-7.
22. Aitken RJ, Bennetts LE, Sawyer D, et al. Impact of radio frequency electromagnetic radiation on DNA integrity in the male germline. *Int J Androl* 2005;28:171-179.
23. Levitt BB, Lai H. Biological effects from exposure to electromagnetic radiation emitted by cell tower base stations and other antenna arrays. *Environ Rev* 2010;18:369-395.
24. Schwarz C, Kratochvil E, Pilger A, et al. Radiofrequency electromagnetic fields (UMTS, 1,950 MHz) induce genotoxic effects *in vitro* in human fibroblasts but not in lymphocytes. *Int Arch Occup Environ Health* 2008;81:755-767.
25. Sieroń-Stoltny K, Teister L, Cieślak G, et al. The influence of electromagnetic radiation generated by a mobile phone on the skeletal system of rats. *Biomed Res Int* 2015;11:1-11.

26. Liu C, Gao P, Xu SC, et al. Mobile phone radiation induces mode-dependent DNA damage in a mouse spermatocyte-derived cell line: a protective role of melatonin. *Int J Radiat Biol* 2013;89:993-1001.
27. Lai H, Singh NP. Magnetic-field-induced DNA strand breaks in brain cells of the rat. *Environ Health Perspect* 2004;112:687-694.
28. Buckus R, Strukcinskiene B, Raistenskis J. The assessment of electromagnetic field radiation exposure for mobile phone users. *Vojnosanit Pregl* 2014;71:1138-1143.
29. Cruz VM. Health risk to non-ionizing radiation by the telecommunications networks in Peru. *Rev Peru Med Exp Salud Pública* 2009;26:94-103.
30. Esen F, Esen H. Effect of electromagnetic fields emitted by cellular phones on the latency of evoked electrodermal activity. *Int J Neurosci* 2006;116:321-329.
31. Información consultada en julio de 2016 en la liga electrónica: <http://ehib.org/cehtp/cehtp.org/emf/RiskEvaluation/riskeval.html>
32. Moulder JE, Foster KR, Erdreich LS, McNamee JP. Mobile phones, mobile phone base stations and cancer: a review. *Int J Radiat Biol* 2005;81:189-203.
33. Gandhi OP, Morgan LL, de Salles AA, et al. Exposure limits: the underestimation of absorbed cell phone radiation, especially in children. *Electromagn Biol Med* 2012;31:34-51.
34. Zilberti L, Arduino A, Bottauscio O, Chiampi M. Parametric analysis of transient skin heating induced by terahertz radiation. *Bioelectromagnetics* 2014;35:314-323.
35. Hintzsche H, Jastrow C, Heinen B, et al. Terahertz radiation at 0.380 THz and 2.520 THz does not lead to DNA damage in skin cells *in vitro*. *Radiat Res* 2013;179:38-45.
36. Moiseev IO, Yushkanov AA, Yalamov YI. Influence of the skin effect on the absorption of electromagnetic radiation by a fine metal particle. *Technical Physics* 2004;49:87-92.
37. Irmak MK, Oztas E, Yagmurca M, et al. Effects of electromagnetic radiation from a cellular telephone on epidermal Merkel cells. *J Cutan Pathol* 2003;30:135-138.
38. Cricenti A, Generosi R, Luce M, et al. Low-frequency electromagnetic field effects on functional groups in human skin keratinocytes cells revealed by IR-SNOM. *J Microsc* 2008;229:551-554.
39. Ennamany R, Fitoussi R, Vie K, et al. Exposure to electromagnetic radiation induces characteristic stress response in human epidermis. *J Invest Dermatol* 2008;128:743-746.
40. Simon D, Daubos A, Pain C, et al. Exposure to acute electromagnetic radiation of mobile phone exposure range alters transiently skin homeostasis of a model of pigmented reconstructed epidermis. *Int J Cosmet Sci* 2013;35:27-34.
41. Stiller MJ, Pak GH, Shupack JL, et al. A portable pulsed electromagnetic field (PEMF) device to enhance healing of recalcitrant venous ulcers: a double-blind, placebo-controlled clinical trial. *Br J Dermatol* 1992;127:147-154.
42. Matic M, Lazetic B, Poljacki M, et al. Influence of different types of electromagnetic fields on skin reparatory processes in experimental animals. *Lasers Med Sci* 2009;24:321-327.
43. Sunkari VG, Aranovitch B, Portwood N, Nikoshkov A. Effects of a low-intensity electromagnetic field on fibroblast migration and proliferation. *Electromagn Biol Med* 2011;30:80-85.
44. Bai WF, Zhang MS, Huang H, et al. Effects of 50 Hz electromagnetic fields on human epidermal stem cells cultured on collagen sponge scaffolds. *Int J Radiat Biol* 2012;88:523-530.
45. Zhang M, Li X, Bai L, et al. Effects of low frequency electromagnetic field on proliferation of human epidermal stem cells: An *in vitro* study. *Bioelectromagnetics* 2013;34:74-80.
46. Çam ST, Seyhan N, Kavaklı C, Çelikbıçak Ö. Effects of 900 MHz radiofrequency radiation on skin hydroxyproline contents. *Cell Biochem Biophys* 2014;70:643-649.
47. Berg M. Skin problems in workers using visual display terminals. A study of 201 patients. *Contact Dermatitis* 1988;19:335-341.
48. Wintzen M, Van Zuuren EJ. Computer-related skin diseases. *Contact Dermatitis* 2003;48:241-243.
49. Gangi S, Johansson O. Skin changes in "screen dermatitis" versus classical UV-and ionizing irradiation-related damage—similarities and differences. *Exp Dermatol* 1997;6:283-291.
50. Bellieni CV, Pinto I, Bogi A, et al. Exposure to electromagnetic fields from laptop use of "laptop" computers. *Arch Environ Occup Health* 2012;67:31-36.

EVALUACIÓN

1. Los daños causados por la radiación electromagnética en la piel dependen de:
 - a) el tipo de radiación
 - b) duración de la exposición
 - c) intensidad de la radiación
 - d) todas las anteriores
 - e) ninguna de las anteriores

2. Los daños que la radiación electromagnética puede inducir en la piel son:
 - a) eritema
 - b) trastornos de la pigmentación
 - c) xerosis
 - d) atrofia
 - e) todas las anteriores
3. La partícula elemental de la radiación electromagnética es:
 - a) el protón
 - b) el fotón
 - c) el radón
 - d) la partícula X
 - e) el núcleo
4. La radiación electromagnética no influye en el siguiente proceso celular en el humano:
 - a) división
 - b) proliferación
 - c) metabolismo oxidativo
 - d) fotosíntesis
 - e) carcinogénesis
5. Se ha descrito que la radiación electromagnética no ionizante tiene un factor de asociación "probable" en el origen de:
 - a) leucemia en niños
 - b) cáncer cerebral en adultos
 - c) abortos espontáneos
 - d) esclerosis lateral amiotrófica
 - e) todas las anteriores
6. Tras la exposición a radiación electromagnética, se ha identificado reorganización de fosfolípidos de la membrana de:
 - a) queratinocitos
 - b) mastocitos
 - c) fibroblastos
 - d) melanocitos
 - e) neuronas cutáneas
7. Se han descrito implicaciones terapéuticas de la radiación electromagnética en:
 - a) vitíligo
 - b) melasma
 - c) acné
 - d) reparación de heridas
 - e) escabiasis
8. Los datos clínicos encontrados en las "dermatitis de pantalla" son semejantes a:
 - a) rosácea
 - b) vitíligo
 - c) dermatomiositis
 - d) psoriasis
 - e) ninguna de las anteriores
9. Las consecuencias en la piel tras la exposición a radiación electromagnética se han considerado un riesgo laboral
 - a) falso
 - b) verdadero
10. El uso de equipos de cómputo portátiles y sus fuentes de alimentación en el regazo podrían ser riesgosos durante el embarazo
 - a) falso
 - b) verdadero

El Consejo Mexicano de Dermatología, A.C. otorgará dos puntos con validez para la recertificación a quienes envíen correctamente contestadas las evaluaciones que aparecen en cada número de *Dermatología Revista Mexicana*.

El lector deberá enviar todas las evaluaciones de 2017 a la siguiente dirección electrónica:

articulos@nietoeditores.com.mx

Fecha límite de recepción de evaluaciones: 31 de enero de 2018.