

¿Puede la tecnología 5g afectar a la salud?

Can the 5G technology affect health?

Leticia Verdugo-Díaz^{1*}

1. Laboratorio de Bioelectromagnetismo, Departamento de Fisiología, Facultad de Medicina, UNAM. CdMx, México.

***Autor de correspondencia:** Dra. Leticia Verdugo-Díaz
Edificio A, 5º piso, Ciudad Universitaria, CdMx 04510, México.
Tel. 5556179831. Email: leticia@unam.mx

DOI <http://dx.doi.org/10.28960/revmeduas.2007-8013.v11.n3.008>

Recibido 23 de Octubre 2020, aceptado 15 de Abril 2021

RESUMEN

En los últimos meses se han publicado comentarios que relacionan la nueva tecnología de comunicación denominada 5G con daños a la salud humana. La inquietud que genera y que la hace diferente de las anteriores tecnologías es que tanto las antenas como los aparatos que usan ondas milimétricas deben de estar más cerca de los usuarios, lo cual puede afectar los patrones de exposición conocidos. En el presente trabajo, se hace un breve resumen histórico de las normas y guías publicadas, enfocándose a la reciente inquietud respecto al uso de la tecnología 5G y su relación con la salud humana.

Palabras clave: ondas milimétricas, precaución, radiofrecuencias, teléfonos celulares.

ABSTRACT

Recently, comments published that link the new communication 5G technology with damage to human health. The concern that 5G technology generates and that makes it different from previous technologies is that both antennas and devices that use millimeter waves must be closer to users, which can affect known exposure patterns. In this work, a brief historical summary of the published norms and guides, focusing on the recent concern regarding the use of 5G technology and its relationship with human health.

Keywords: millimeter waves, precaution, radio frequencies, cell phones.

INTRODUCCIÓN

Los campos electromagnéticos (CEM) son un tipo de energía que se encuentran presentes en la naturaleza pero que también forman parte de la tecnología. Desde el siglo pasado, la exposición ambiental a CEM se ha incrementado notablemente, debido al aumento en la demanda de electricidad y las aplicaciones relacionadas con su uso¹. En la última década, la exposición a **las radiofrecuencias (RF)**, ha crecido con gran rapidez; en especial las relacionadas con las comunicaciones².

La comunicación a través de la telefonía ha transformado al mundo, permitiendo -sobre todo con la de tipo inalámbrico (teléfonos celulares) mayor rapidez de transmisión y aportando a la sociedad múltiples beneficios². Pero al mismo tiempo su amplia distribución ha aumentado la exposición de la población³. De ahí que diversos gobiernos y dependencias de salud han cuestionado la inocuidad de la exposición a RF¹. Desde el 2011, las RF están clasificadas como agentes posiblemente carcinogénicos para los humanos según la Agencia Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer

(IARC)⁴. En marzo del presente año la Comisión Internacional de Protección de Radiaciones no Ionizantes (ICNRP) publicó una nueva guía de exposición a CEM incluyendo a las RF⁵.

En los últimos meses se han publicado comentarios que relacionan la nueva tecnología de comunicación denominada 5G (por quinta generación) con daños a la salud humana⁶. Esta tecnología utiliza RF, las cuales solo tienen la capacidad de penetrar en la piel unos pocos milímetros. La inquietud que genera la tecnología 5G y que la hace diferente de las anteriores tecnologías es que tanto las antenas como los aparatos que usan ondas milimétricas, deben de estar más cerca de los usuarios, lo cual puede afectar los patrones de exposición⁷.

Bases físicas de las radiaciones no ionizantes

La radiación electromagnética se refiere a las energías eléctrica y magnética que se transportan en forma de ondas en el espacio o en otros medios. Las ondas electromagnéticas varían a lo largo del tiempo en una forma sinusoidal, con parámetros de frecuencia (Hertz=Hz) y la longitud de onda (distancia entre dos ondas). Estos dos parámetros se relacionan entre sí en forma inversamente proporcional, es decir si la frecuencia aumenta la longitud de onda disminuye y viceversa¹.

En el espectro electromagnético las radiaciones electromagnéticas se clasifican dependiendo de

la frecuencia en dos tipos: las no ionizantes y las ionizantes (Figura 1). El término ionizante se relaciona con la energía que transportan y que tienen la posibilidad de desplazar electrones de los átomos o moléculas y así cambiar su estructura. Esto causa daño directo a las células por la gran energía que transportan; por ejemplo, se conoce el uso de la radioterapia para matar a las células cancerígenas¹. La región de las ondas no ionizantes del espectro electromagnético comprende una gran variedad de categorías que tienen frecuencias menores de la correspondiente a la luz visible.

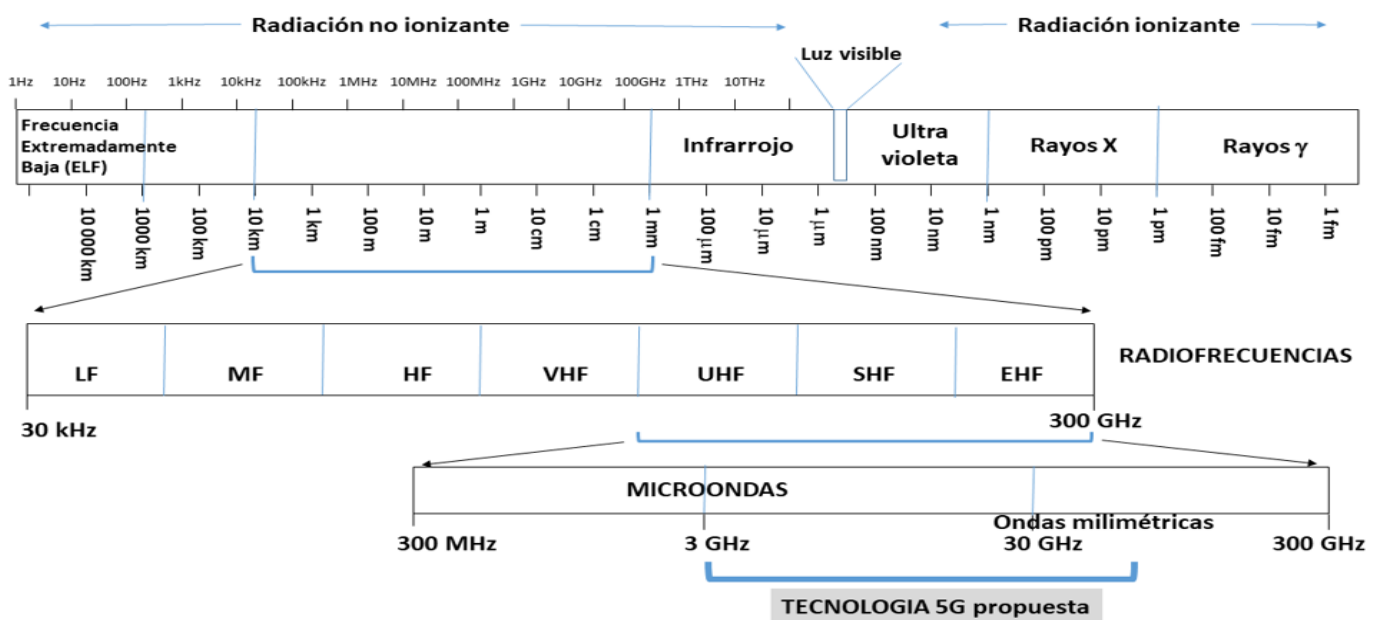
La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT)² clasificó a las ondas no ionizantes de acuerdo con su frecuencia. Las ondas de radio o radiofrecuencias (RF) abarcan desde los 30KHz hasta los 300GHz con sus correspondientes longitudes de onda de 10 Km a 1 mm. Para el desarrollo y aplicación de las radiodifusiones a nivel mundial es la misma UIT quien dirige la reglamentación obligatoria a seguir, la cual está jurídicamente regulada.

La nueva tecnología denominada 5G (quinta generación), se encuentra en el rango de las ondas milimétricas (frecuencia de 30-300GHz y longitud de onda de 10-1mm). La UIT ha delimitado las frecuencias para el uso de la 5G, dependiendo de cada región geográfica (1 para Europa y África, la 2 para América y la 3 para Asia y Oceanía). Las bandas seleccionadas no se encuentran ocupadas por otras aplicaciones

y permiten mover la información a mayor velocidad. Se contempla que la tecnología 5G alcance velocidades de hasta **10 gigabits/segundo**, esto es **diez veces mayor que la actual 4G**. Se argumenta que esto permitirá brindarle a la red de internet un ambiente de conectividad para atender cientos de miles de dispositivos

conectados en lugares de trabajo, zonas urbanas y hogares³. El problema que se tiene es que las señales con frecuencias más altas viajan distancias más cortas que con frecuencias más bajas, por lo que será necesario una infraestructura más robusta, con más antenas o con otros dispositivos que permitan ampliar la señal en las áreas donde se ofrezca la 5G.

Figura 1. Espectro Electromagnético



Las Radiofrecuencias y la Salud

El efecto de las RF sobre la salud humana se ha relacionado en gran medida con la posibilidad de inducir diversas patologías y en especial cáncer. En 1965 se estableció la Agencia Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (IARC, siglas en inglés) como un órgano intergubernamental de la Organización Mundial de la Salud de las Naciones Unidas. Desde su establecimiento se enfocó en estudiar los riesgos

de inducir cáncer por algunas sustancias químicas, publicando múltiples monografías al respecto⁸. En las monografías más recientes se estudian además factores físicos, biológicos y de estilos de vida. Existen otras agencias y organizaciones que realizan también estudios sobre el efecto de las RF emitidas por diversas tecnologías en la salud humana⁹⁻¹².

El Comité Científico sobre Riesgos Emergentes y Recién Identificados para la Salud (SCENIHR, siglas en inglés)¹³ es un comité independiente

gestionado por la Dirección General de Salud y Protección del Consumidor perteneciente a la Unión Europea. En 2009 el SCENIHR publicó un reporte con revisiones de datos y puntos de vista de otras agencias, donde concluyó a partir de evidencias (epidemiológica, estudios en animales e *in vitro*) que la exposición a RF es poco probable que conduzca a un aumento de cáncer en humanos. Sin embargo, reconoce que la duración a las exposiciones por los teléfonos celulares estudiados era corta. Es decir, el tiempo expuesto era muy breve para que pudiera verse la inducción de algunos tipos de cáncer. Por lo tanto, recomendó realizar estudios a más largo plazo de exposición, tales como 10 años, además de hacer más estudios en niños y otros relacionados con otras enfermedades no sólo cáncer¹⁴.

Un estudio internacional de casos control (denominado INTHERPHONE) coordinado por la IARC se enfocó sobre el uso de teléfonos celulares y su efecto en la salud¹⁵. El estudio analizó la posible relación entre las RF y el riesgo de presentar 4 tipos de tumores: de la cabeza (glioma y meningioma) y en regiones cercanas (neurinomas acústicos y tumores de las glándulas parotídeas). La agencia reporta que no se encontraron bases sólidas para relacionar el uso de los celulares con la aparición de ninguno de los tipos de cáncer estudiados. Es importante señalar que en los años en que se realizó este reporte (2000-2004), los participantes solo contaban con la red GSM.

En el 2011, considerando sus propias investigaciones y otras de comités y agencias internacionales, la IARC clasificó a las RF como un agente con posibilidades de carcinogénesis en humanos (Categoría 2B). Esto significa que hay evidencia limitada en humanos (estudios epidemiológicos) para fundamentar la posibilidad de efectos carcinogénicos de las RF y que las evidencias en estudios con animales son insuficientes^{12 4}. La monografía 102 de la IARC del 2013, realiza una evaluación sobre los riesgos de carcinogénesis en humanos por la radiación no ionizante¹⁶. Las tecnologías 3G y 4G ya están consideradas en este estudio y se evalúan tres categorías de exposición humana: 1. Las fuentes medioambientales (estaciones y antenas de transmisión de la telefonía celular, contadores inteligentes o “smart meters” y algunas aplicaciones médicas), 2. Las exposiciones de tipo ocupacional (calentadores dieléctricos de alta frecuencia y de inducción, los radares de alta frecuencia) y 3. El uso de aparatos personales como los propios celulares, los teléfonos inalámbricos, los dispositivos bluetooth y los radios-aficionados. El reporte considera que “Hay evidencia limitada en humanos sobre la carcinogénesis de las RF”, pero reconoce que existen posibles asociaciones entre la exposición RF de teléfonos móviles con gliomas y neuroomas acústicos. A pesar de esto, considera que la clasificación en la categoría 2B previamente reportada continúa siendo válida.

En la última década se ha incrementado rápidamente a nivel mundial el uso de las comunicaciones inalámbricas tanto en el número de usuarios, así como en la duración de su uso. Esto aumentó aún más con las tecnologías 3G y 4G, calculándose que hoy existen más dispositivos que el número de habitantes en el planeta¹⁷. De los reportes recientes cabe destacar el estudio del Programa Nacional de Toxicología (NTP, siglas en inglés) de la NIEHS en 2018¹⁸, realizado en animales de experimentación expuestos a RF de 3G y 4G. Los resultados obtenidos fueron: 1) clara evidencia de inducción de tumores en cabezas de ratas macho (schwannoma) por la alta exposición, 2) ciertas evidencias de presencia de gliomas en cerebros de ratas macho y finalmente 3) algunas evidencias de tumores en glándulas adrenales de ratas macho (tanto benignos como malignos). Para ratas hembra y ratones de ambos sexos no encontraron resultados concluyentes que relacionen los tumores con la exposición a RF. Con base en estos y otros resultados, varios comités han solicitado a la IARC, que la radiación de RF sea reevaluada como agente carcinogénico^{19,20}. La IARC tiene previsto realizar su nueva evaluación en el 2024.

Normas y guías para limitar la exposición a RF

La primera guía aceptada a nivel internacional para la exposición a CEM no ionizantes que incluyera a las RF fue la publicada en 1998 por la

ICNIRP²¹. Desde entonces muy pocas veces han sido revisadas estas normas²² y las compañías y desarrolladores de nuevas tecnologías continúan utilizando dicha guía.

Los límites de exposición fueron definidos de tal manera que la exposición no causara daño por calentamiento al material biológico (el denominado efecto térmico). Para calcular los límites de exposición se utiliza la tasa de absorción específica o SAR (siglas en inglés), que es una medida de la energía que absorbe un material y se expresa por unidad de potencia respecto a un volumen (W/kg). Los efectos térmicos de las RF ocurren cuando los valores de SAR exceden ciertos límites, generalmente de 4W/kg, en donde se produce un calentamiento de los tejidos de 1°C.

La guía de la ICNIRP no presenta valores por arriba de los 10 GHz, lo cual se debe a que, con frecuencias mayores, solo se calienta la superficie del cuerpo (es decir la profundidad de penetración es muy pequeña). Por lo tanto, el SAR no puede calcularse para las ondas milimétricas por la poca profundidad que éstas alcanzan, en estos casos deben de considerarse el área expuesta (W/m²) y no el volumen.

En el 2019 la IEEE²³ y en marzo del 2020 la ICNIRP^{22 5} publicaron nuevas guías que ya cubren a la tecnología 5G. Ambas agencias aclaran que basan sus análisis en rigurosas revisiones de la literatura científica, las cuales tuvieron firmes evidencias para establecer efectos en la

salud humana. En términos generales no existen cambios significativos en las recomendaciones y límites de exposición en estas nuevas guías.

Los principales cuestionamientos hacia las nuevas guías son²⁴: 1) consideran únicamente exposiciones agudas (solo lo ampliaron de 6 a 30 minutos de exposición), ya que argumentan que no existen aún evidencias suficientes para incluir los efectos a largo plazo, 2) solo consideran exposiciones con niveles que lleguen a inducir el efecto térmico, a pesar de que existen múltiples estudios científicos que muestran efectos no térmicos²⁵, 3) Faltan definir efectos en poblaciones específicas (edades diferentes, relacionarlas con el estado de salud, etc.). Se ha reportado que en los niños el uso de teléfonos celulares aumenta la energía de RF depositada en sus cabezas, la cual puede ser dos veces mayor en el cerebro y hasta 10 veces mayor en la médula ósea comparada con los adultos²⁶.

Efectos de la tecnología 5G sobre los sistemas biológicos

Muchos de los estudios sobre el efecto de las RF se enfocan en las emisiones de los teléfonos celulares desde la primera generación hasta la 3G y la 4G²⁷⁻²⁹. Los reportes no han logrado un consenso, ya que en ocasiones muestran resultados contradictorios y/o con falta de reproducibilidad o de controles adecuados²⁶.

The Oceania Radiofrequency Scientific Advisory Association (ORSAA) es una organización independiente formada en 2015. Su objetivo es proveer una perspectiva independiente de la industria y de organizaciones gubernamentales sobre la exposición humana a CEM³⁰. Con la base de datos de la ORSAA se publicó una revisión de 2653 artículos³¹, clasificando a los trabajos no solo en los resultados biológicos obtenidos, sino relacionándolos también con los financiamientos que obtuvieron para realizar las investigaciones. Así, encontraron que existían 3 veces más reportes con “efectos biológicos” que “sin efectos”, pero que los que fueron financiados por las industrias son los que más frecuentemente reportaban “no efectos”.

Actualmente el interés se ha enfocado en las **ondas milimétricas** que usa la tecnología 5G. Al respecto existen muy pocos estudios y persisten en algunos casos contradicciones en los resultados⁶. Esto se pueden observar en la revisión bibliográfica que aquí se presenta, realizada en el buscador de PubMed. Se enfocó solamente en los efectos de las RF correspondientes a ondas milimétricas en humanos (estudios *in vitro* e *in vivo*). La tabla 1 resume los resultados de experimentos *in vitro*³²⁻⁵⁴ y los realizados con voluntarios se encuentran en la tabla 2⁵⁵⁻⁶¹. Los valores de frecuencia no exceden los 300 GHz en los estudios en cultivos celulares y los 100 GHz en los estudios *in vivo*, estos son los límites máximos para exposiciones locales en la población y se encuentran en los

rangos de los aparatos y tecnologías usadas con ondas milimétricas. Como se puede observar en ambas tablas los resultados obtenidos no son concluyentes para definir un efecto, además de que el número de estudios es aún muy reducido.

Existen dos extensas revisiones recientemente publicadas que revisan también los datos obtenidos en modelos animales. La primera se enfocó en el efecto de las ondas milimétricas en células provenientes de la piel. En esa revisión se aclara que su objetivo fue la piel, ya que ésta y los ojos son los únicos órganos del cuerpo hu-

mano que pueden directamente estar expuestos a las ondas milimétricas⁶². El autor concluye que todos los estudios analizados se realizaron con exposiciones a corto plazo y sin la intervención de algún otro agente; por lo tanto, las conclusiones son limitadas y no se pueden extrapolar efectos a largo plazo. La revisión de Simko y Mattson es más general, tomando en cuenta cualquier tejido que haya sido expuesto a ondas milimétricas de todo tipo de animal⁶³. Aún así, ambas revisiones reportan menos de 100 publicaciones desde el nivel celular hasta experimentos con personas voluntarias, pero ninguno epidemiológico.

Tabla 1. Efectos de las Radiofrecuencias en células humanas. Estudios *in vitro*.

Referencias	Células estudiadas	Estimulación	Parámetros medidos	Efectos observados
Shckorbatov YG. et al, 1999 ³² .	Células humanas de epitelio bucal (donadores femeninos).	42.2 GHz 5 segundos	Electronegatividad y presencia de gránulos de heterocromatina en el núcleo.	Disminuye la carga eléctrica natural e incrementa la condensación de cromatina en el núcleo. Los resultados dependen de la dosis y de las características individuales de los donadores.
Szabo I. et al. 2001 ³³ .	Queratinocitos epidérmicos humanos (s-HaCat).	61.2 GHz 15 o 30 minutos	Proliferación, adhesión, quimiotaxis (tanto espontánea como inducida por citocinas), producción de IL-1beta.	Modesto incremento en el nivel intracelular de IL-1beta. Se sugiere que la exposición puede activar la queratosis basal.
Szabo I. et al, 2003 ³⁴ .	Queratinocitos epidérmicos humanos (s-HaCat).	42.25 y 61.2 GHz 30 y 60 minutos	Producción de Hsp70, de quimosinas (RANTES, IP-10), gap junctions, y viabilidad.	No se detectó efectos dañinos en la estructura y función de los queratinocitos <i>in vitro</i> . No se induce inflamación en la piel con esos parámetros.
Chen QL. et al, 2004 ³⁵ .	Queratinocitos epidérmicos humanos (HaCat).	30.16 GHz 1 hora	Gap junctions.	La exposición no afecta las gap junctions.
Beneduci A. et al, 2005 ³⁶ .	Línea celular de melanoma humano (RPMI 7932).	53.57-78.33 GHz 1 hora	Proliferación y morfología.	Se observaron significativas alteraciones morfológicas y baja proliferación. Efectos antiproliferativos.
Beneduci A. et al, 2005 ³⁷ .	Células humanas de cáncer de mama (MCF-7).	52-78 GHz	Morfología.	Algunos cambios ultraestructurales. Se comprobó el efecto antiproliferativo.
Szabo I. et al, 2006 ³⁸ .	Queratinocitos epidérmicos humanos (s-HaCat).	42.25 GHz 30 minutos	Apoptosis, expresión de marcadores (Anexina V, fosfatidil-serina).	Se induce externalización de fosfatidil-serina que es reversible y sin daño detectable en la membrana de los queratinocitos.
Korenstein-Ilan A. et al, 2008 ³⁹ .	Linfocitos humanos.	100 GHz 1, 2 o 24 horas	Proliferación y efectos genéticos.	Los cromosomas 11 y 17 son más vulnerables, pero el 1 y 10 no se afectan. Se induce inestabilidad genómica.

Beneduci A. 2009 ⁴⁰ .	Células de melanoma de piel humana (RPMI 7932)	42.20 y 53.57 GHz 1 hora	Proliferación y ciclo celular.	Ninguno de los parámetros estudiados fue afectado por la estimulación.
Nicolaz CN. et al, 2009 ⁴¹ .	Células gliales humanas (U-251 MG).	59.16, 60.43, y 61.15 GHz	Expresión de biomarcadores endógenos de estrés.	No se modificó los niveles de ARN mensajero de los genes sensibles a estrés.
Nicolaz CN. et al, 2009 ⁴² .	Células gliales humanas (U-251 MG).	60.4 GHz	Plegamiento, secreción y expresión de factores de transcripción (XBP1 o ATF6).	No modifica el plegamiento, la secreción ni la inducción de los factores de maduración.
Shckorbatov YG. et al, 2009 ⁴³ .	Células humanas del epitelio bucal	35 GHz 10 segundos	Cromatina y membrana celular.	La radiación produjo condensación de la cromatina dependiente de la polarización de la onda electromagnética (mayor en la polarización lineal que la circular). La polarización lineal induce daño en la membrana celular.
Zhadobov M. et al, 2009 ⁴⁴ .	Línea celular de epidermis humana (HaCaT).	60.42 GHz	Viabilidad celular, expresión de genes y conformación de proteínas	No se alteró ninguno de los parámetros estudiados.
Shckorbatov YG. et al, 2010 ⁴⁵ .	Fibroblastos humanos.	36.65 GHz 10 segundos	Heterocromatina.	A baja intensidad (1 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$) no se produce ningún efecto, pero a 10 y 100 $100 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ aumenta la condensación de cromatina.
Le Quément C. et al, 2012 ⁴⁶ .	Cultivo primario de piel humana.	60.4 GHz 1, 6 o 24 horas	Análisis de expresión del genoma.	No diferencias significativas en la expresión de genes.
Le Quément, C. et al, 2014 ⁴⁷ .	Línea celular de melanoma humano (A375) y de queratinocitos epidérmicos humanos (Ha-Cat).	60 GHz 20 min, 1, 6, 16 o 24 horas	Expresión de genes sensores de estrés en el retículo endoplásmico (BIP y ORP150).	No cambio en nivel basal de ARN mensajero de las proteínas estudiadas.
Habauzit D. et al, 2014 ⁴⁸ .	Queratinocitos humanos.	60 GHz 1-3 horas	Análisis de expresión del genoma.	No se modifica la expresión de genes.
Volkova NA. et al, 2014 ⁴⁹ .	Espermatozoides crio preservados.	42.25 GHz 5, 10 y 15 minutos	Motilidad, integridad membranal condensación de cromatina y apoptosis.	Incrementa la fracción de espermatozoides móviles sin daño en la integridad membranal ni la cromatina nuclear o la apoptosis.
Koyama S. et al, 2016 ⁵⁰ .	Líneas de epitelio de córnea humana (HCE-T) y de cristalino (SRA01/04).	60 GHz 24 horas	Formación de micronúcleos, ruptura de ADN y expresión de Hsp.	No se incrementó la frecuencia de micronúcleos. La ruptura del ADN ni la expresión de la proteína Hsp.
Soubere Mahamoud Y. et al, 2016 ⁵¹ .	Queratinocitos neonatales humanos (cultivo primario).	60.4 GHz 3 horas	Análisis de expresión del genoma y contenido de ATP.	La radiación no modificó el transcriptoma de los queratinocitos. Pero puede interferir con la respuesta bioenergética al estrés.
Vlasova II. et al, 2018 ⁵² .	Muestra de sangre o neutrófilos plasmáticos	32.9-39.6 GHz 5, 15, 30 minutos	Generación de especies reactivas de oxígeno, actividad de mieloperoxidasas y morfología de neutrófilos.	Los neutrófilos permanecieron intactos.
Yaekashiwa N. et al, 2018 ⁵³ .	Fibroblastos de piel humana (NB1RBG) y Glioblastoma (A172).	70 a 300 GHz 3, 70 o 94 horas	Proliferación y ensayos de citotoxicidad.	No se induce proliferación ni toxicidad. No se encontraron efectos de tipo no térmicos por la exposición aplicada.
Le Pogam P. et al, 2019 ⁵⁴ .	Queratinocitos epidérmicos humanos (HaCat).	60.4 GHz 24 horas	Estudios de metabolómica y lipidómica.	Desregulación del perfil metabólico por la exposición tanto con polaridad positiva como negativa. Los autores apoyan que las ondas milimétricas pueden alterar la permeabilidad de la membrana celular.

Tabla 2. Efectos de las Radiofrecuencias en humanos. Estudios *in vivo*.

Referencia	Características del estudio	Estimulación	Efectos observados	Conclusiones
Radzievsky AA. et al, 1999 ⁵⁵ .	Ensayo prospectivo, doble ciego, aleatorizado. Doce voluntarios sanos masculinos. Modelo de dolor tónico.	42.25 GHz 25±5 mW/cm ² 30 minutos	Supresión significativa de la sensación de dolor.	La terapia con ondas milimétricas se puede utilizar potencialmente como un tratamiento complementario o alternativo para aliviar el dolor.
Walters T.J. et al, 2000 ⁵⁶ .	Estudio con consentimiento de 10 personas adultas (3 mujeres y 5 varones). Termografía para medir umbrales de dolor térmico en la espalda.	94 GHz 1.8 W/cm ² 3 segundos	La densidad de potencia promedio requerida para evocar una sensación de dolor fue de 1,25±0,05 W/cm ² . Esto correspondió a un aumento medio de la temperatura superficial de 9,9°C.	Los resultados apoyan el uso del modelo para predecir los umbrales de dolor térmico en otras frecuencias de ondas milimétricas.
Alekseev S.I. et al, 2005 ⁵⁷ .	Estudio con consentimiento de 1 mujer y 3 varones adultos. Mediciones de la perfusión sanguínea de la piel del antebrazo y dedo medio, al usar un dispositivo terapéutico de ondas milimétricas.	42.25 GHz 55 y 208 mW/cm ² 20 minutos	La exposición a 208 mW/cm ² elevó la temperatura cutánea en el dedo, el cual tiene un flujo sanguíneo más alto. Esto fue notablemente menor que lo observada en el antebrazo.	Las ondas milimétricas a intensidades suficientes podrían afectar térmicamente las estructuras termosensibles ubicadas en la piel y en el tejido subyacente.
Müller J. et al, 2004 ⁵⁸ .	Estudio doble ciego a 50 estudiantes universitarios. Medición de parámetros fisiológicos (frecuencia cardíaca, electrocardiograma, respiración, temperatura y conductancia de la piel).	77 GHz 3 µW/cm ² 15 minutos	Ninguna diferencia significativa entre los datos obtenidos por la exposición y la falsa exposición.	El estudio descarta efectos de la estimulación sobre el sistema nervioso autónomo y la función cardiovascular.
Egot-Lemaire SJP y Ziskin MC. 2011 ⁵⁹ .	Estudio en 10 voluntarios adultos sanos: 1 mujer y 9 varones. Propiedades dieléctricas de la piel de antebrazo en un punto usado para acupuntura.	50-75 GHz 14 mW/cm ²	Las propiedades dieléctricas del sitio de acupuntura eran algo diferentes de las de los sitios circundantes sin acupuntura.	Se requieren más investigaciones para determinar si la aplicación de ondas milimétricas en los sitios de acupuntura es eficaz.
T. Partyla T. et al, 2017 ⁶⁰ .	Estudio doble ciego en 20 voluntarios masculinos sanos. La piel de la parte baja del esternón se expuso a la RF y el umbral al dolor fue medido. Otros parámetros evaluados fueron frecuencia cardíaca, presión arterial y parestesia durante la estimulación.	42.25 GHz 30 minutos	El umbral de dolor aumentó durante la exposición en comparación con el valor inicial, pero no al compararlo con el grupo placebo. También aumentaron las sensaciones de dolor, así como la presión arterial diastólica.	Confirmación parcial de los efectos hipoalérgicos sugeridos anteriormente. Sin embargo, el efecto fue indistinguible de la condición de placebo en esta investigación.
Gibbons JA. 2017 ⁶¹ .	Caso reporte de un hombre de 39 años que participó en una prueba con exposición a un rayo de energía de 95 GHz diseñado para calentar la piel.	95 GHz	Presentó retrasos en la recuperación de áreas elevadas del pecho, donde se produjeron zonas eritematosas, no pruriginosas y no dolorosas. Estas fueron cinco sitios de exposición en donde la temperatura de la piel excedía los 54 °C. Todos se resolvieron dentro de las 2 horas posteriores a las exposiciones.	Este es el segundo informe de un individuo previamente asintomático que desarrolló urticaria por calor local después de una exposición de 95 GHz.

Un punto nodal cuando se realizan revisiones de efectos biológicos son los estudios epidemiológicos; sin embargo, no existen tales estudios del efecto de las ondas milimétricas. Estos solo se podrán desarrollar cuando ya se encuentre en funcionamiento la tecnología y abarque buena parte de la población a examinar. Por lo tanto, actualmente no existe ninguna evidencia epidemiológica y no la tendremos hasta dentro de algunos años, sobre el efecto de la tecnología 5G en la salud humana. Las conclusiones de ambas revisiones recalcan antes que nada que los estudios realizados hasta el momento no son suficientes para asegurar o descartar un efecto de las ondas milimétricas en la salud humana.

La mayoría de los estudios publicados se enfocan en la relación de las RF con modelos animales (ratas o ratones) o voluntarios humanos. Sin embargo, cabe mencionar que, aunque en menor cantidad, también existen estudios en microorganismos, insectos, aves, plantas entre otros^{64,65}. Principalmente los estudios en plantas son aquellas relacionadas con la alimentación humana. Así, en la revisión que realizó Halgamuge en el 2016, concluye que las especies más sensibles a las RF son el maíz, el frijol, los guisantes, las lentejas, la cebolla y el tomate (efectos fisiológicos y morfológicos)⁶⁴. En otros organismos estudiados las RF pueden producir efectos biológicos tales como: cambios en el crecimiento (bacterias); en el desarrollo (insec-

tos, otros vertebrados); en la fertilidad/reproducción (insectos); conductuales e inducción de estrés (bacterias, insectos, aves y mamíferos) principalmente⁶⁶. Pocos son los estudios relacionados con procesos ecológicos, para tener conclusiones al respecto^{65,66}.

Mecanismos de acción térmicos y no térmicos de las RF

Los efectos biológicos inducidos por las RF son muy variados, abarcando desde procesos bioquímicos, celulares, morfológicos, fisiológicos, conductuales, etc⁶⁷. Con base en algunas de estos cambios inducidos las RF también se han utilizado para aplicaciones médicas⁶⁸. Los reportes científicos no solo se han enfocado en describir los efectos biológicos de las RF, buena parte de ellos han investigado el mecanismo de acción. Al respecto existen múltiples propuestas e hipótesis, reconociendo antes que nada que las RF no poseen la energía suficiente para producir directamente daños genómicos⁶².

Los efectos térmicos, es decir aquéllos que aumentan al menos 1°C la temperatura del tejido o célula irradiada son considerados dañinos. Sin embargo, los efectos no térmicos pueden producir cambios físicos o bioquímicos⁶⁹.

Existen dos hipótesis de como las RF pueden afectar a los organismos en forma no térmica. La primera por cambios en la transducción de las señales celulares, en especial a través de las variaciones en los iones de calcio^{6,70}. Otra

hipótesis que cuenta con múltiples apoyos experimentales propone que las RF inducen la formación de radicales libres y/o especies reactivas de oxígeno (EROs)⁷¹. En el 2016 Yaky-menko y colaboradores⁶⁸ realizaron una revisión de poco más de 100 artículos y refieren que 93 de ellos confirman que las RF de baja intensidad inducen efectos oxidativos en los sistemas biológicos. Los autores proponen que si esta generación de EROs sobrepasa la capacidad del organismo de desecharlos se puede llevar a la aparición de patologías, en particular el cáncer.

Ambas hipótesis no son excluyentes, por ejemplo, se sabe que en varios tipos celulares la homeostasis del calcio está modulado por las concentraciones de EROs⁷². En el 2019 se publicó una propuesta de como los cambios celulares inducidos por las RF pudieran inducir las alteraciones conductuales y daños cerebrales reportados en principalmente en roedores⁶⁷. Otros sistemas que pueden mostrar alteraciones por la exposición a RF son el sistema inmunológico y el endocrino⁷³.

Finalmente, con todos estudios hasta ahora publicados y realizar un análisis científico de los mismos, una serie de reconocidos investigadores ha propuesto que el tema sea tratado con un “Principio de Precaución” y solicitan más apoyos para incrementar el número de estudios al respecto^{25, 74-78}.

CONCLUSIONES

Hasta el día de hoy se considera que faltan datos con el suficiente rigor científico y la robustez necesaria para considerar que las RF y en particular las emisiones de las ondas milimétricas producidas por la tecnología 5G produzcan daños a la salud humana.

El Principio de precaución para la tecnología 5G a nivel residencial debería usarse para limitar exposiciones innecesarias cuando y donde sea factible, mientras la evidencia científica sea ambigua. El uso de conexiones a través de fibras ópticas, las cuales se conecten con las estaciones base de 5G en casas y escuelas es recomendable.

REFERENCIAS

1. Organización Mundial de la Salud.OMS. Temas de Salud. Campos electromagnéticos [consultado el 30 de septiembre 2020]. Disponible en: https://www.who.int/topics/electromagnetic_fields/es/
2. Unión Internacional de Telecomunicaciones. UIT. [consultado el 30 de septiembre 2020]. Disponible en: <https://www.itu.int/es/about/Pages/default.aspx>.
3. 5G Americas. 5G Spectrum Recommendations-Abril 2017. Disponible en: http://www.5gamericas.org/files/9114/9324/1786/5GA_5G_Spectrum_Recommendations_2017_FINAL.pdf

4. International Agency for Research on Cancer. IARC. Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. PRESS RELEASE. 2011; N° 208. Disponible en: https://www.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/07/pr208_E.pdf.
5. The International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz). Health Phys. 2020; 118:483–524. doi.org/10.1097/HP.0000000000001210.
6. Pall ML. Scientific evidence contradicts findings and assumptions of Canadian Safety Panel 6: microwaves act through voltage-gated calcium channel activation to induce biological impacts at non-thermal levels, supporting a paradigm shift for microwave/lower frequency electromagnetic field action. Rev Environ Health. 2015;30(2):99-116. doi: 10.1515/reveh-2015-0001.
7. Hardell L, Oremus M, Soslone CL. Risks to Health and Well-Being from Radio-Frequency Radiation Emitted by Cell Phones and Other Wireless Devices. Front. Public Health. 2019; 7:223. doi: 10.3389/fpubh.2019.00223.
8. International Agency for Research on Cancer. IARC monographs on the identification of carcinogenic hazards to human. Disponible en: <https://monographs.iarc.fr/>
9. National Council on Radiation Protection and Measurements. NCRP. Report No. 086 – Biological Effects and Exposure Criteria for Radiofrequency Electromagnetic Fields (1986). Disponible en: <https://aapm.org/pubs/NCRP/detail.asp>.
10. EMF-PORTAL. Electromagnetic fields (WHO EHC Monograph No. 137) guideline World Health Organization (WHO) 1993, WHO Environmental Health Criteria 137: 1-146. Disponible en: <https://www.emf-portal.org/en/article/15261>.
11. Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz. In IEEE Std C95.1-2005 (Revision of IEEE Std C95.1-1991). Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1626482>.
12. The International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. ICNIRP Statement on EMF-emitting new technologies. Health Physics. 2008; 94(4):376-392. Disponible en: <https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPNewTech.pdf>.
13. Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks. SCENIHR. Possible effects of Electromagnetic Fields (EMF) on Human Health. 2007. Disponible en: https://ec.europa.eu/health/archive/ph_risk/committees/04_scenihr/docs/scenihr_o_007.pdf.
14. Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks. SCENIHR. Health Effects of Exposure to EMF. 2009. Disponible en: https://ec.europa.eu/health/archive/ph_risk/committees/04_scenihr/docs/scenihr_o_022.pdf.
15. INTERPHONE Study Group. Brain tumor risk in relation to mobile telephone use: Results of the INTERPHONE international case control study. Int J Epidemiol. 2010; 39:675–694. doi.org/10.1093/ije/dyq079.

16. International Agency for Research on Cancer. IARC. Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Non-ionizing radiation, Part 2: Radiofrequency electromagnetic fields. IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum. 2013; Vol.102(Pt 2):1–460. <https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/06/mono102.pdf>.
17. World Health Organization. WHO. Model Legislation for Electromagnetic Fields Protection. Disponible en: https://www.who.int/peh-emf/standards/EMF_model_legislation%5B1%5D.pdf.
18. Lin JC. Clear evidence of cell-phone RF radiation cancer risk. IEEE Microw Mag. 2018; 19:16–24. https://avaate.org/IMG/pdf/lin_2018.pdf.
19. Barnes F, Greenebaum B. Setting Guidelines for Electromagnetic Exposures and Research Needs. Bioelectromagnetics. 2020; 41(5):392-397. doi: 10.1002/bem.22267.
20. U.S. Food & Drug Administration. FDA. Review of Published Literature between 2008 and 2018 of Relevance to Radiofrequency Radiation and Cancer. 2020. Disponible en: <https://www.fda.gov/media/135043/download>.
21. The International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Phys. 1998; 74 (4):494-522. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9525427/>
22. The International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. ICNIRP statement on the “guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Phys. 2009b; 97:257–258. doi: 10.1097/HP.0b013e3181aff9db.
23. Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE. Standard for safety levels with respect to human exposure to electric, magnetic, and electromagnetic fields, 0 Hz to 300 GHz. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8859679>.
24. The International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. ICNIRP. Differences between the ICNIRP (2020) and previous guidelines. Disponible en: <https://www.icnirp.org/en/differences.html>
25. Belpomme D, Hardell L, Belyaev I, Burgio E, Carpenter DO. Thermal and non-thermal health effects of low intensity non-ionizing radiation: An international perspective. Environ Pollut. 2018; 242(Pt A):643-58. doi: 10.1016/j.envpol.2018.07.019.
26. Miller AB, Sears ME, Morgan LL, Davis DL, Hardell L, Oremus M, et al. Risks to Health and Well-Being from Radio-Frequency Radiation Emitted by Cell Phones and Other Wireless Devices. Front Public Health. 2019; 7:223. doi: 10.3389/fpubh.2019.00223.
27. Falcioni L, Bua L, Tibaldi E, Lauriola M, De Angelis L, Gnudi F, et al. Report of final results regarding brain and heart tumors in Sprague-Dawley rats exposed from prenatal life until natural death to mobile phone radiofrequency field representative of a 1.8 GHz GSM base station environmental emission. Environ Res. 2018; 165:496–503. doi: 10.1016/j.envres.2018.01.037.

28. Smith-Roe SL, Wyde ME, Stout MD, Winters JW, Hobbs CA, Shepard KG, et al. Evaluation of the genotoxicity of cell phone radiofrequency radiation in male and female rats and mice following subchronic exposure. *Environ Mol Mutagen*. 2020; 61:276–90. doi: 10.1002/em.22343.
29. Kostoff RN, Heroux P, Aschner M, Tsatsakis A. Adverse health effects of 5G mobile networking technology under real-life Conditions. *Toxicol Lett*. 2020; 323:35-40. doi: 10.1016/j.toxlet.2020.01.
30. Oceania Radiofrequency Scientific Advisory Association. ORSAA. [consultado el 30 de septiembre 2020]. Disponible en: <https://www.orsaa.org/about-us.html>
31. Leach V, Weller S, Redmayne M. A novel database of bio-effects from non-ionizing radiation. *Rev Environ Health*. 2018; <https://doi.org/10.1515/reveh-2018-0017>.
32. Shckorbatov YG, Grigoryeva N, Shakhbazov VG, Grabina VA, Bogoslavsky AM. Microwave irradiation influences on the state of human cell nuclei. *Bioelectromagnetics*. 1999; 19:414–9. doi: [10.1002/\(SICI\)1521-186X](https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-186X).
33. Szabo I, Rojavin MA, Rogers TJ, Ziskin MC. Reactions of keratinocytes to in vitro millimeter wave exposure. *Bioelectromagnetics*. 2001; 22(5):358–64. doi: 10.1002/bem.62.
34. Szabo I, Manning MR, Radzlevsky AA, Wetzel MA, Rogers TJ, Ziskin MC. Low Power Millimeter Wave Irradiation Exerts No Harmful Effect on Human Keratinocytes In Vitro. *Bioelectromagnetics*. 2003; 24(3):165–73. doi: 10.1002/bem.10077.
35. Chen Q, Zeng QL, Lu DQ, Chiang H. Millimeter Wave Exposure Reverses TPA Suppression of Gap Junction Intercellular Communication in HaCaT Human Keratinocytes. *Bioelectromagnetics*. 2004; 25(1):1–4. doi: 10.1002/bem.10140.
36. Beneduci A, Chidichimo G, De Rose R, Filippelli L, Straface SV, Venuta S. Frequency and irradiation time-dependant antiproliferative effect of low-power millimeter waves on RPMI 7932 human melanoma cell line. *Anticancer Res*. 2005; 25(2A):1023–8.
37. Beneduci A, Chidichimo G, Tripepi S, Perrotta E. Transmission electron microscopy study of the effects produced by wide-band low-power millimeter waves on MCF-7 human breast cancer cells in culture. *Anticancer Res*. 2005; 25(2A):1009–13.
38. Szabo I, Kappelmayer J, Alekseev SI, Ziskin MC. Millimeter wave induced reversible externalization of phosphatidylserine molecules in cells exposed in vitro. *Bioelectromagnetics*. 2006; 27(3):233–44.
39. Korenstein-Ilan A, Barbul A, Hasin P, Eliran A, Gover A, Korenstein R. Terahertz Radiation Increases Genomic Instability in Human Lymphocytes. *Radiat. Res*, 2008; 170(2):224–34. doi: 10.1667/RR0944.1.
40. Beneduci A. Evaluation of the Potential In Vitro Antiproliferative Effects of Millimeter Waves at Some Therapeutic Frequencies on RPMI 7932 Human Skin Malignant Melanoma Cells. *Cell Biochem Biophys*. 2009; 55:25-32. doi: 10.1007/s12013-009-9053-8.
41. Nicolaz CN, Zhadobov M, Desmots F, Sauleau R, Thouroude D, et al. Absence of direct effect of low-power millimeter-wave radiation

- at 60.4 GHz on endoplasmic reticulum stress. *Cell Biol Toxicol.* 2009; 25(5):471–8. doi: 10.1007/s10565-008-9101-y.
42. Nicolaz CN, Zhadobov M, Desmots F, Ansart A, Sauleau R, et al. Study of narrow band millimeter-wave potential interactions with endoplasmic reticulum stress sensor genes. *Bioelectromagnetics.* 2009; 30(5):365–73. doi: 10.1002/bem.20481.
43. Shckorbatov YG, Pasiuga VN, Kolchigin NN, Grabina VA, Batrakov DO, et al. The influence of differently polarised microwave radiation on chromatin in human cells. *Int J Rad Biol.* 2009; 85:322-9. doi: 10.1080/09553000902781113.
44. Zhadobov M, Nicolaz CN, Sauleau R, Desmots F, Thouroude D, et al. Evaluation of the Potential Biological Effects of the 60-GHz Millimeter Waves Upon Human Cells. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation,* 2009; 57:2949-55, doi: 10.1109/TAP.2009.2029308.
45. Shckorbatov YG, Pasiuga VN, Goncharuk EI, Petrenko TP, Grabina VA, et al. Effects of differently polarized microwave radiation on the microscopic structure of the nuclei in human fibroblasts. *J Zhejiang Univ Sci B.* 2010;11(10):801-5. doi: 10.1631/jzus.B1000051. PMID: 20872988; PMCID: PMC2950243.
46. Le Quément C, Nicolaz NC, Zhadobov M, Desmots F, Sauleau R, et al. Whole-genome expression analysis in primary human keratinocyte cell cultures exposed to 60 GHz radiation. *Bioelectromagnetics.* 2012; 33(2): 147–58. doi: 10.1002/bem.20693.
47. Le Quément C, Nicolaz CN, Habauzit D, Zhadobov M, Sauleau R, Le Dréan Y. Impact of 60-GHz millimeter waves and corresponding heat effect on endoplasmic reticulum stress sensor gene expression. *Bioelectromagnetics.* 2014; 35(6):444–51. doi: 10.1002/bem.21864.
48. Habauzit D, Le Quément C, Zhadobov M, Martin C, Aubry M, et al. Transcriptome analysis reveals the contribution of thermal and the specific effects in cellular response to millimeter wave exposure. *PLoS One.* 2014; 9(10). doi: 10.1371/journal.pone.0109435.
49. Volkova NA., Pavlovich EV, Gapon AA, Nikolov OT. Effects of Millimeter-Wave Electromagnetic Exposure on the Morphology and Function of Human Cryopreserved Spermatozoa. *Bull Exp Bio. Med.* 2014;157(5):574–6. doi: 10.1007/s10517-014-2618-6.
50. Koyama S, Narita E, Shimizu Y, Suzuki Y, Shiina T, et al. Effects of long-term exposure to 60 GHz millimeter-wavelength radiation on the genotoxicity and heat shock protein (HSP) expression of cells derived from human eye. *Int J Environ Res. Public Health.* 2016; 13(8). doi: 10.3390/ijerph13080802.
51. Soubere-Mahamoud Y, Aite M, Martin C, Zhadobov M, Sauleau R, et al. Additive Effects of Millimeter Waves and 2-Deoxyglucose Co-Exposure on the Human Keratinocyte Transcriptome. *PLoS One.* 2016; 11(8):e0160810. doi: 10.1371/journal.pone.0160810.
52. Vlasova II, Mikhalchik EV, Gusev AA, Balabushevich NG, Gusev SA, Kazarinov KD. Extremely high-frequency electromagnetic radiation enhances neutrophil response to

- particulate agonists. *Bioelectromagnetics*. 2018; 39(2):144–55. doi: 10.1002/bem.22103.
53. Yaekashiwa N, Otsuki S, Hayashi S, Kawase K. Investigation of the non-thermal effects of exposing cells to 70-300 GHz irradiation using a widely tunable source. *J Radiat Res*. 2018; 59(2):116–21. doi: 10.1093/jrr/rrx075.
54. Le Pogam P, Le Page Y, Habauzit D, Doué M, Zhadobov M, et al. Untargeted metabolomics unveil alterations of biomembranes permeability in human HaCaT keratinocytes upon 60 GHz millimeter-wave exposure. *Sci Reports*. 2019; 9:9343. doi: 10.1038/s41598-019-45662-6.
55. Radzievsky AA, Rojavin MA, Cowan A, Ziskin MC. Suppression of pain sensation caused by millimeter waves: a double-blinded, cross-over, prospective human volunteer study. *Anesth Analg*. 1999; 88(4):836–40.
56. Walters TJ, Blick DW, Johnson LR, Adair ER, Foster KR. Heating and pain sensation produced in human skin by millimeter waves: comparison to a simple thermal model. *Health Phys*. 2000; 78(3):259-67. doi: 0.1097/00004032-200003000-00003.
57. Alekseev S. I., A. A. Radzievsky, I. Szabo, and M. C. Ziskin, "Local heating of human skin by millimeter waves: Effect of blood flow," *Bioelectromagnetics*, vol. 26, no. 6, pp. 489–501. 2005. Doi:10.1002/bem.20118.
58. Müller J, Haderer KP, Müller V, Waldmann J, Landstorfer FM, et al. Influence of low power cm-mm-microwaves on cardiovascular function. *Int J Env Health Res*. 2004; 14(5):331–41. doi: 10.1080/09603120400004006.
59. Egot-Lemaire SJ.-P, Ziskin MC. Dielectric properties of human skin at an acupuncture point in the 50-75 GHz frequency range: a pilot study. *Bioelectromagnetics*. 2011; 32(5): 360–6. doi: 10.1002/bem.20650.
60. Partyla T, Hacker H, Edinger H, Leutzow B, Lange J, Usichenko T. Remote Effects of Electromagnetic Millimeter Waves on Experimentally Induced Cold Pain: A Double-Blinded Crossover Investigation in Healthy Volunteers. *Anesth Analg*. 2017; 124(3): 980–5. doi: 10.1213/ANE.0000000000001657.
61. Gibbons JA. Localized Heat Urticaria from 95-GHz Millimeter Wave. *Aerosp Med Hum Perform*. 2017; 88:586-8. doi: 10.3357/AMHP.4707.
62. Leszczynski D. Physiological effects of millimeter-waves on skin and skin cells: an overview of the to-date published studies. *Rev Environ Health*. 2020; 24. doi: 10.1515/reveh-2020-0056.
63. Simkó M, Mattsson MO. 5G Wireless Communication and Health Effects-A Pragmatic Review Based on Available Studies Regarding 6 to 100 GHz. *Int J Environ Res Public Health*. 2019; 16(18):3406. doi: 10.3390/ijerph16183406.
64. Halgamuge MN. Review: Weak radiofrequency radiation exposure from mobile phone radiation on plants. *Electromagn Biol Med*. 2017; 36(2):213-235. doi: 10.1080/15368378.2016.1220389.

65. Czerwiński M, Vian A, Lázaro A. The influence of bioactive mobile telephony radiation at the level of a plant community – Possible mechanisms and indicators of the effects. *Ecological Indicators*, Elsevier, 2019, 108, ff10.1016/j.ecolind.2019.105683ff. fffhal-02625424f.
66. Cucurachi S, Tamis WL, Vijver MG, Peijnenburg WJ, Bolte JF, de Snoo GR. A Review of the ecological effects of radiofrequency electromagnetic fields (RF-EMF). *Environ Int*. 2013; 51:116–140. doi: 10.1016/j.envint.2012.10.009.
67. Narayanan SN, Jetti R, Kesari KK, Kumar RS, Nayak SB, Bhat PG. Radiofrequency electromagnetic radiation-induced behavioral changes and their possible basis. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2019; 26(30):30693-710. doi: 10.1007/s11356-019-06278-5.
68. Yakymenko I, Tsybulin O, Sidorik E, Henshel D, Kyrylenko O, Kyrylenko S. Oxidative mechanisms of biological activity of low-intensity radiofrequency radiation. *Electromagn Biol Med*. 2016; 35(2):186-202. doi: 10.3109/15368378.2015.1043557.
69. Kostoff RN, Heroux P, Aschner M, Tsatsakis A. Adverse health effects of 5G mobile networking technology under real-life conditions. *Toxicol Lett*. 2020; 323:35-40. doi: 10.1016/j.toxlet.2020.01.020.
70. Adair RK. Biophysical Limits on Athermal Effects of RF and Microwave Radiation. *Bioelectromagnetics*. 2003; 24:39-48.
71. Ledoigt, G., Belpomme, D. Cancer induction molecular pathways and HF-EMF irradiation. *Adv Biol Chem*. 2013; 3:177-86. doi:10.4236/abc.2013.32023.
72. Montoya RD. Magnetic fields, radicals and cellular activity. *Electromagn Biol Med*. 2017; 36(1):102-13. doi: 10.1080/15368378.2016.1194291.
73. Belpomme D, Hardell L, Belyaev I, Burgio E, Carpenter DO. Thermal and non-thermal health effects of low intensity non-ionizing radiation: An international perspective. *Environ Pollut*. 2018; 242(Pt A):643-58. doi: 10.1016/j.envpol.2018.07.019.
74. Russell CL. 5 G wireless telecommunications expansion: Public health and environmental implications. *Environ Res*. 2018; 165:484-95. doi: 10.1016/j.envres.2018.01.016.
75. Di Ciaula A. Towards 5G communication systems: Are there health implications? *Int J Hyg Environ Health*. 2018; 221(3):367-75. doi: 10.1016/j.ijheh.2018.01.011.
76. Keller H. On the assessment of human exposure to electromagnetic Fields transmitted by 5g nr base stations. *Health Physics*. 2019; 117(5):541-5. doi: 10.1097/HP.0000000000001089.
77. McClelland S, Jaboin JJ. The Radiation Safety of 5G Wi-Fi: Reassuring or Russian Roulette? *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2018; 101(5):1274,-5 doi: 10.1016/j.ijrobp.2018.04.051.
78. Hardell L, Nyberg R. Appeals that matter or not on a moratorium on the deployment of the fifth generation, 5G, for microwave radiation. *Mol Clin Oncol*. 2020; 12:247-57.