

## Efectos de la radiación no ionizante emitida por dispositivos inalámbricos

Effects of non-ionizing radiation issued by wireless gadgets

**Rafael Alvarado C.<sup>1</sup>**  
**L. J. Esquivel-Rodríguez<sup>2</sup>**  
**C. I. Mota-Hernández<sup>3</sup>**  
**Jaime R. Santos R.<sup>4</sup>**

Fecha de envío: noviembre 2012  
Fecha de recepción: noviembre 2012  
Fecha de aceptación: septiembre 2013

### Resumen:

El empleo de equipo electrónico portátil que emite radiación no ionizante en el espectro electromagnético se incrementa de manera constante y marca una tendencia proclive a la integración de funcionalidades y la miniaturización. Particularmente, la telefonía celular es usada amplia e intensivamente alrededor del mundo por un extenso número de usuarios, a pesar de que poco se sabe de los efectos que podrían tener en la salud humana o la certeza sobre los resultados obtenidos al investigarlos: algunos han alcanzado resultados alarmantes –ruptura del ADN, genotoxicidad–, mientras que otros no han encontrado amenazas potenciales o significativas, es decir, los resultados no son concluyentes. El presente documento de investigación realiza un análisis con enfoque integral de la documentación especializada previa, realizada por organismos reconocidos, para favorecer y enriquecer la discusión de este tema, considerado polémico.

### Palabras clave:

Dispositivos Inalámbricos, campos electromagnéticos, radiación no Ionizante, telefonía celular

### Abstract:

The use of portable electronic equipment that emits non-ionizing radiation in the electromagnetic spectrum increases steadily and marks a trend likely to integrate functionality

and miniaturization. Particularly, cellular telephony is widely used all around the world by a large number of users, despite little is known about the effects they may have on human health or that provides certainty about the results obtained. Many studies and projects to investigate those have been carried out, some have reached alarming results –DNA breaks, genotoxicity–, while others found no potential or significant threats and namely the

1 MSc. y Ph.D. en Ingeniería de Sistemas, Instituto Politécnico Nacional (IPN), México D.F., Secretaría de Educación Pública (SEP), Gobierno Federal (México). Correo electrónico: [ralvaradoc@ipn.mx](mailto:ralvaradoc@ipn.mx)

2 Ing. en computación, Universidad Autónoma del Estado de México (México). Correo electrónico: [lesquivelr@uaem.edu.mx](mailto:lesquivelr@uaem.edu.mx)

3 MSc. en Ciencias en Ingeniería de Sistemas. Ph.D. en Ingeniería de Sistemas, Instituto Politécnico Nacional (IPN), México D.F. Research Professor, Universidad Autónoma del Estado de México. Correo electrónico: [cmotah@uaem.edu.mx](mailto:cmotah@uaem.edu.mx)

4 MSc. Thermal Power & Fluid Engineering, University of Manchester, Institute of Science and Technology (UMIST), Inglaterra. Ph.D. Safety, Risk & Reliability Engineering, Heriot-Watt University, Edimburgo, Escocia. Research Professor, Instituto Politécnico Nacional (IPN) México. Correo electrónico: [jrsantosr@hotmail.com](mailto:jrsantosr@hotmail.com)

results are not conclusive. The investigation document presents an analysis of previous specialized documentation, developed by recognized organizations in order to promote and enhance the discussion of the topic, considered polemical.

**Keywords:**

Wireless gadgets, electromagnetic fields, non-ionizing radiation, cellular telephony

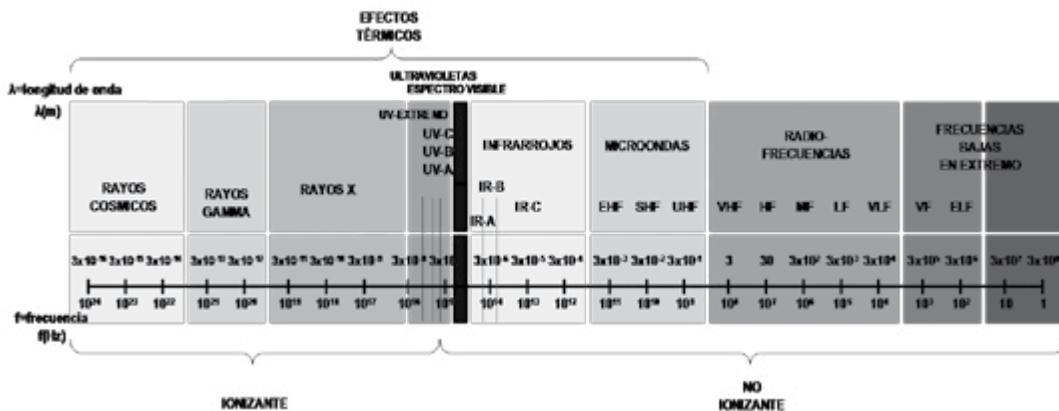
**1. Introducción**

Las tecnologías de la información y la comunicación y su complejidad conllevan un marcado énfasis sobre la productividad, la eficiencia y el desarrollo. Sin embargo, se considera importante destacar que no siempre se conocen en detalle las interacciones entre los organismos vivos (en particular, seres humanos) y dichas tecnologías (en este caso inalámbricas, que producen radiación no ionizante). El desarrollo tecnológico y la protección a la integridad individual han avanzado, a la par, por el mismo camino.

Los equipos de comunicación inalámbrica constituyen algunos de los medios tecnológi-

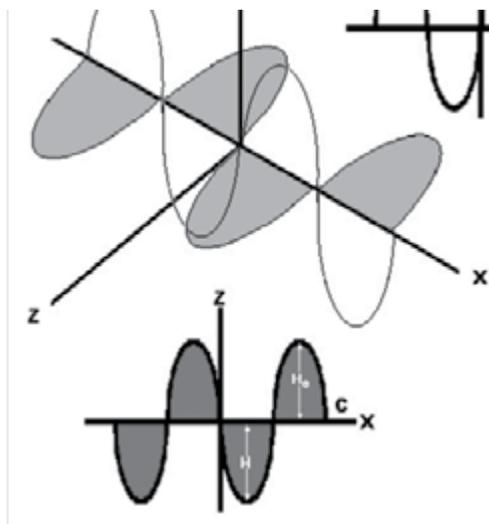
cos más utilizados a lo largo del mundo; su evolución se ha hecho notar, especialmente en cuestiones de eficacia y portabilidad. La telefonía celular, dentro de ella los teléfonos móviles (TM), en especial, resultan ser buenos ejemplos de lo anterior. Aunque existe cierta polémica (al igual que en toda tecnología en desarrollo) sobre su impacto en el usuario, principalmente en temas de salud. El presente documento de investigación ofrece un análisis de diversos trabajos encabezados por expertos en biología, química y física alrededor del mundo, dedicados al análisis de los posibles efectos en algunas funciones del organismo humano, con metodologías diferentes, suaves y duras [1]. También se discuten conceptos relacionados con la investigación, los cuales que se consideran relevantes por parte de los autores de las investigaciones citadas, con base en otros estudios, como es el de radiación, que se refiere a la energía transmitida por ondas. En este caso, la luz producida por el sol es una de las formas más conocidas de energía electromagnética. Las ondas electromagnéticas son ondas de fuerzas magnéticas y eléctricas cuyo movimiento ondulatorio se define como propagación de perturbaciones en un sistema físico, es decir,

**Figura 1. Espectro electromagnético**



Fuente: elaboración propia.

**Figura 2. Propagación de onda electromagnética en el espacio**



Fuente: elaboración propia.

las ondas electromagnéticas se propagan en el espacio, caracterizándose por una diversidad de parámetros. En la figura 1 se representa el espectro electromagnético en detalle.

Por otro lado, una onda electromagnética, que consta de una componente eléctrica y una magnética y cuya longitud de onda es la distancia entre dos crestas o dos valles consecutivos de la onda (máximos o mínimos), con cambios en el campo eléctrico que se acompañan de cambios en el campo magnético y vi-

ceversa, puede representarse como una onda plana (en la cual los campos E y B son perpendiculares entre sí y también perpendiculares a la dirección de propagación), difundiéndose a la velocidad de la luz en la dirección X como muestra la figura 2.

## 2. Metodología

En el desarrollo de la investigación se utilizó una metodología propia, consistente en recabar información de fuentes consideradas confiables, seleccionar aquella información que pudiese ser más fácilmente interpretada para un usuario común (filtrado), para posteriormente explicar con base en un análisis riguroso, las temáticas consideradas más importantes, cubriendo los aspectos de frontera y sus tendencias. En cuanto a materiales, las consultas y fuentes de información fueron hechas vía Internet, o recogidas en bibliotecas, revistas y otros recursos bibliográficos.

## 3. Radiación ionizante y no ionizante, la absorción

Radiación es cualquier energía emitida desde una fuente: ondas y calor son ejemplos de ésta. Dentro del espectro de frecuencias (figura 3), existen dos tipos de radiaciones electromagnéticas: la radiación ionizante pue-

**Figura 3. Espectro de frecuencias**



Fuente: elaboración propia.

de desprender electrones al interactuar con átomos, cargándolos positiva o negativamente. Se encuentra ejemplificada por los rayos X y los rayos gamma (ambos usados activamente con fines médicos). Por otro lado, la radiación no ionizante carece de dicha capacidad. Formas de ella están presentes en las ondas infrarrojas, de radio, etcétera. Al utilizar el móvil, un transmisor codifica el sonido en una onda sinusoidal compuesta por radiaciones electromagnéticas. Esta viaja por el aire desde la antena hasta ser captada por un receptor en una torre de estación base, que responde de forma homóloga.

La tecnología móvil usa microondas (energía no ionizante) en el rango de los MegaHertz (900-1800 MHz). Al emitir la señal, parte de esta es absorbida por la cabeza humana, mientras que la otra parte se dirige al destino.

La velocidad de absorción específica (VAE) es una medida de la velocidad a la cual la energía es absorbida por el organismo. Sus valores máximos llegan a 1,6 W/kg en promedio por gramo de tejido (Estados Unidos) y 2 W/kg en promedio por 10 gramos de tejido (Europa). Actualmente, la medida oscila entre 0,20 y 1,59 W/kg (para móviles en Estados Unidos y Europa) [2]. Se calcula que el cerebro recibe una VAE menor a 1,0  $\mu$ W/kg. Es importante señalar que el verdadero valor de la VAE depende en la estructura del tejido y, por ejemplo, puede ser mucho más para niños que para adultos. Los modelos de TM que emiten menos VAE emiten VAE de apenas pocos décimos de W/kg.

Entre los efectos que pueden presentarse por el uso de aparatos que generan radiaciones, se encuentran los térmicos y los no térmicos. En el caso de los TM, los efectos no térmicos son el objeto de este documento. Puede referirse al respecto la existencia de alguna patente para proteger al usuario de la exposi-

ción excesiva a la radiación electromagnética [3]. Por otro lado, se ha señalado alguna posible asociación entre el uso del teléfono móvil y tumores intracraneales; sin embargo, la investigación no es concluyente [4].

## 4. Proyectos relacionados

Para elaborar el presente artículo se recopiló información sobre proyectos realizados en la última década y cuyo campo de estudio fue el de los efectos bioquímicos causados por el uso de la tecnología móvil. A continuación se detalla, de manera general, la metodología, los materiales y algunos hallazgos clave de dichos proyectos.

### 4.1. Los Proyectos Guard y Cemfec

Guard tuvo como principal analizar los efectos que tenía el uso del dispositivo móvil en el sistema auditivo.

Como detalle preliminar se conocía que el sistema del oído y en especial las células ciliadas cocleares tienen una alta sensibilidad en relación con agentes endógenos y exógenos.

Guard buscaba descubrir los posibles efectos del uso de teléfonos con frecuencias de 900 y 1800 MHz en el sistema auditivo de animales (ratas y conejillos de indias) y humanos, así como contribuir al mejoramiento de protocolos relacionados con la salud en Europa. Sus resultados se aprecian en la tabla 1.

Se observó que no hubo efectos en las medidas principales del estado del sistema auditivo ni en animales ni en humanos. Asimismo, se concluyó que los efectos del GSM debían ser investigados más allá, al igual que los efectos de otras radiofrecuencias [5].

Por otro lado, en Cemfec Se usaron campos electromagnéticos (CEM) combinados con

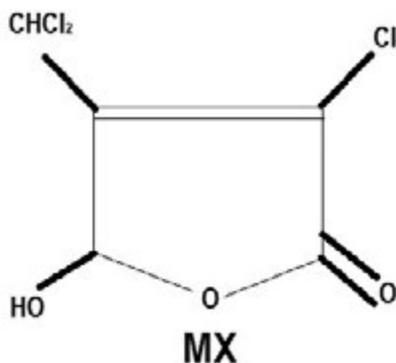
**Tabla 1. Resultados de Guard**

Temas probados	Número de animales	
	Animales	Humanos
Agudo	168	169
Combinado	230	
In-vitro	90	
Supresión aguda		95
Entre supresión		65
Sección transversal		213
Total	488	542

Fuente: elaboración propia con base en [5].

cancerígenos ambientales para analizar su efecto conjunto, mediante enfoques in vivo e in vitro. Se expusieron células animales a radiación electromagnética.

El enfoque in vivo consistió en investigar los efectos de la exposición a frecuencias de radio, en conjunción con MX inducido en el agua de beber de las ratas de laboratorio. Los criterios de valoración incluían carcinogénesis (creación de cáncer) y genotoxicidad (capacidad de un agente de causar daño genético). El MX (figura 4) es una de las sustancias

**Figura 4. Estructura del MX**

Fuente: elaboración propia.

con mayor capacidad mutagénica conocidas por el hombre.

En el estudio in vitro se usaron dos líneas celulares para estudiar los efectos individuales de los campos, o en combinación con MX o el herbicida vinclozolin. Los criterios de valoración incluían mecanismos de carcinogénesis como estrés oxidativo, proliferación celular y apoptosis (muerte celular controlada genéticamente).

Con base en los resultados del estudio animal, los efectos de carcinogénesis no son probables (en este modelo experimental y en los niveles de exposición elegidos). Esta conclusión se apoya en el hecho de que no se encontró un alza en los efectos genotóxicos in vivo o en los efectos carcinogénicos [6].

#### 4.2. Los Proyectos Reflex y RAMP-2001

En Reflex se realizó una evaluación de riesgo de daños ambientales potenciales por CEM de frecuencias extremadamente bajas (FEB), que van desde 0 a 300 Hz, por su exposición, usando métodos in vitro sensibles. También se usaron frecuencias de radio (desde 30 KHz hasta 300 GHz). El estudio se efectuó en células individuales humanas y animales. Las células humanas elegidas para el estudio de FEB fueron linfocitos, fibroblastos y células musculares, entre otras. En el caso de las células animales, se usaron, por ejemplo, células granulosas de ratas. Para el estudio de frecuencias de radio se usaron células granulosas de ratas y linfocitos humanos, fibroblastos y células cerebrales.

Después de la exposición se analizaron las células, en busca de cambios indicativos de genotoxicidad (rupturas de ADN, micronúcleo, aberraciones cromosomáticas, etc.).

La exposición intermitente a FEB de 50 Hz (común en medios eléctricos) provocó efec-

tos genotóxicos en los fibroblastos humanos, los melanocitos humanos y algunas células animales. Otras células, como los linfocitos, no tuvieron perjuicio alguno. En los fibroblastos hubo una correspondencia directa entre la intensidad/duración de la exposición a FEB y el número de rupturas de ADN o micronúcleo (ambos indicadores de genotoxicidad). Dos laboratorios del proyecto lo notaron y dos externos lo comprobaron.

En células expuestas a frecuencias de radio, se identificaron efectos genotóxicos también (los tres mencionados antes) en los fibroblastos humanos, células HL-60 y células granulosa de ratas, pero no en los linfocitos. El daño variaba según el tiempo y el tipo de señal.

En ambos casos (tanto FEB como radio) hubo alteración en la expresión de genes (figura 5) y proteínas involucradas en la división, proliferación y diferenciación celular [7].

Por otro lado, RAMP- 2001 planteó la realización de una evaluación del riesgo de la exposición de células del sistema nervioso a campos electromagnéticos de teléfonos celulares, por medio de estudios in vivo e in vitro. Algunos de los objetivos particulares fueron contribuir a una mejora de los estándares de seguridad mundial y el modelado teórico y la simulación computarizada de los mecanismos de interacción entre los CEM y las células del sistema nervioso. Algunas de las frecuencias usadas fueron GSM de 900 y 1800 MHz.

Los experimentos en ratas indican, aparentemente, que no hay un fenómeno significativo inducido por la exposición, referente a memoria y comportamiento en niveles menores o cercanos al marcado por el estándar. Se observó un efecto en el transpor-

tador de dopamina (sus propiedades) después de una exposición a GSM de 900 MHz, en un VAE alto de 6 W/kg. Este efecto, al parecer, se basaba en la duración (dependía de ella). En menor VAE no hubo efecto. El efecto no cambió con las frecuencias puesto que en la exposición GSM de 1800 MHz se observó el mismo efecto. Una exposición aguda en el cerebro, con una duración de decenas de minutos, puede modificar la actividad cerebral. Este efecto depende de la VAE, y no así de la frecuencia usada [8]. El proyecto comenzó el 1º de enero del 2002. Inicialmente, terminaría el 31 de diciembre del 2004, pero se pospuso hasta el 30 de septiembre del 2005.

### 4.3. El proyecto Interphone

Su objetivo principal fue determinar si el uso del móvil incrementa el riesgo de cáncer y si las frecuencias de radio son cancerígenas. Contó con la participación de trece países (incluyendo los Estados Unidos y países europeos como Suecia y Finlandia). Inició el 1º de febrero del 2000. La investigación se realizó por medio de estudios de control de caso, de tumores cerebrales (glioma y meningioma), tumores del nervio acústico y tumores de la glándula parótida. El espacio muestral comprendió personas principalmente de 30 a 59 años. Se procedió a recopilar datos sobre su uso personal del teléfono móvil, historiales médicos y datos referentes a la posible exposición a otras formas de radiación (uso de rayos X, por ejemplo) [9].

**Figura 5. Ejemplo de expresión génica (proteína)**



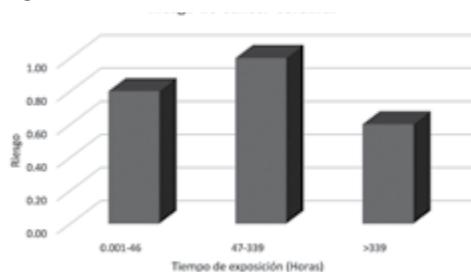
Fuente: elaboración propia.

Los primeros resultados (2005) no mostraron incremento en el riesgo de tumores cerebrales para usuarios con menos de diez años de uso del móvil. En contraste, había un 80% de incremento del riesgo para desarrollo de neuromas acústicos para usuarios con más de diez años de tal uso [10]. Los documentos más recientes fueron publicados el 17 de mayo del 2010 [11] y, posteriormente, el 9 de junio de 2011 [12]. Las figuras 6 y 7 muestran algunos análisis pertinentes a dichos documentos. La Organización Mundial de la Salud (OMS) y la International Agency for Research on Cancer (IARC) clasificaron a los CEM de radiofrecuencias como posibles cancerígenos [13].

#### 4.4. Resultados de otras investigaciones relacionadas

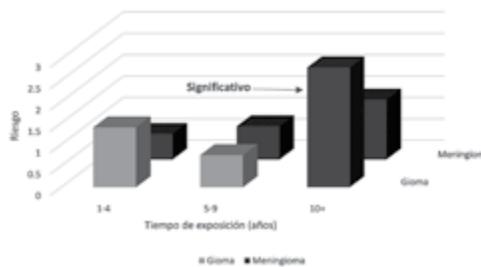
- Una VAE de 0,22 W/kg fue aplicada a ratones de 55 días de edad, durante diecisiete días, noventa minutos por día. Esta VAE tiene un efecto mayor en la fase de consolidación de los procesos de memoria de reconocimiento [15].
- En un estudio con 323 voluntarios, usuarios regulares de teléfono móvil, se llevó a cabo una evaluación audiométrica al principio del uso y tres años más tarde. Se indagó acerca de los periodos de uso por día y año. También se evaluó a un grupo de no usuarios. El uso de TM en periodos intermedios permite detectar una pérdida leve en la escucha, pero la causa de esto permanece sin ser clara [16].
- Otro estudio buscó investigar si los CEM emitidos por treinta minutos tenían un efecto a corto plazo en el sistema auditivo central humano. La respuesta del tronco encefálico, su función de recuperación y la respuesta de latencia media fueron medidas en quince voluntarios sin problemas auditivos, tras usar un móvil por treinta minutos. No hubo efecto alguno [17].
- Un estudio con catorce hombres, enfocado en la variabilidad del pulso cardíaco, mostró un incremento cuando el teléfono es puesto cerca del pecho y un decremento al ser puesto cerca de la cabeza. Sin embargo, los cambios no se consideraron importantes, por los valores altos de la entropía durante la medición [18].
- Otro estudio sobre los efectos de los TM en el sistema auditivo utilizó a veinte hombres sanos, de entre veinte y cuarenta años de edad. Se tomaron medidas de las emisiones otacústicas y la respuesta del tronco cerebral. Posteriormente, participaron en tres sesiones en las cuales se les expuso a un CEM de 900 a 1800 MHz producido por un TM. En la primera, el teléfono se mantuvo en la posición normal de conversación, con el receptor

**Figura 6. Probabilidad de cáncer cerebral**



Fuente: elaboración propia con base en [14].

**Figura 7. Probabilidad tumor cerebral**



Fuente: elaboración propia con base en [14].

presionado contra el oído izquierdo. No hubo conversación durante la sesión. Al finalizar se tomaron de nuevo las medidas antes mencionadas. En la segunda, una hora después, se efectuaron doce llamadas de dos minutos y medio cada una. Se expuso el mismo oído que en la primera sesión y de nuevo se tomaron medidas. En la tercera, una hora después, el teléfono fue sostenido de tal manera que entrara en contacto con la zona mastoidea del oído izquierdo. La sesión duró quince minutos y se tomaron medidas cada cinco minutos. Al finalizar, no se reportaron cambios significativos en las medidas [19].

- Un estudio realizado en Alemania, enfocado en las estaciones base de telefonía móvil, consistió en dos fases basadas en análisis poblacional: la primera fase consistió en realizar una encuesta a 30047 personas sobre cómo las estaciones base afectaban su salud. De este total, 18,7% mostraron preocupación sobre los efectos en la salud de dichas estaciones, y un 10,3% adicional atribuyó sus padecimientos a la exposición a ellas. Los pacientes que vivían a quinientos metros o menos de las estaciones, así como aquellos preocupados o que atribuían sus padecimientos a ellas, reportaron ligeramente más problemas que otros. Esta fase solo comprobó que una parte importante de la población alemana está preocupada por la exposición y sus efectos, pero los anteriormente mencionados reportes sobre la cercanía no pueden ser totalmente explicados [20].

La segunda fase consistió en la aplicación de un cuestionario postal a 3526 personas sobre cómo las estaciones base afectaban su salud. Se recabó información sobre sus trastornos de sueño y demás problemas de salud; no se reportaron dolores de cabeza o bajas en la sa-

lud física o mental. Aquellos individuos preocupados por las estaciones y su influencia no tenían puntuaciones de bienestar diferentes a quienes no estaban preocupados. Entonces se concluyó que los cem no estaban asociados con problemas de salud [21].

- Otro estudio se enfocó a la investigación de la relación entre radiación de microondas y apoptosis en las espermatogonias de 31 ratas. Estas se separaron en tres grupos: jaula de control [13], grupo falso [10] y grupo expuesto [17]. El tercer grupo fue expuesto a radiación de 900 MHz por dos horas diarias durante diez meses. El grupo falso fue colocado en un carrusel y se aplicó el procedimiento con el generador de ondas apagado. Para el grupo jaula de control no hubo acción alguna. Tras los diez meses, las ratas fueron sacrificadas y se tomaron pruebas de la caspasa-3 (activada en las células con apoptosis). No hubo diferencia sustancial entre la apoptosis de las pruebas del grupo expuesto con respecto a los demás grupos [22].
- Se realizó una encuesta en una colonia de la Ciudad de México, buscando analizar la percepción pública de riesgo sobre las líneas de alta tensión y los CEM que emiten. Los resultados se muestran en la tabla 2.

Esta encuesta sirvió para mostrar que aun cuando se tiene percepción de que los CEM afectan la salud, no se toman medidas para reducir la exposición a estos, debido, entre otras razones, a la falta de conocimientos sobre ellos [23].

**Tabla 2. Resultados de la encuesta aplicada**

Pregunta	%	
	Sí	No
¿Le agrada vivir en su domicilio?	84	16
¿Usted decidió vivir en este domicilio?	70	30
¿Viven niños en su domicilio?	64	36
¿Le afecta que existan líneas de alta tensión en su domicilio?	80	20
¿Permite que sus hijos jueguen debajo de las líneas de alta tensión?	30	70
¿Conoce el voltaje de las líneas de alta tensión?	18	82
¿Tiene algún conocimiento de qué son los CEM?	30	70
¿Cree usted que exista algún peligro al vivir cerca de las líneas de alta tensión?	84	16
¿Cree usted que existe algún riesgo al vivir cerca de las líneas de alta tensión?	95	5

Fuente: elaboración propia con base en [23].

## 5. Reportes médicos

### 5.1. Reporte de la Institution of Electrical Engineers (2004)

Este reporte considera los efectos biológicos y los riesgos de salud en cuanto a campos de radiofrecuencias y de baja frecuencia. Resume los hallazgos de estudios de laboratorio y epidemiológicos publicados en literatura revisada por expertos durante los dos años previos.

Concluye que las investigaciones antes mencionadas no sugieren efectos dañinos por la exposición a frecuencias de radio. Según el

reporte, no hay evidencia suficiente de que el uso de TM incremente el riesgo de cáncer cerebral o el neuroma acústico en adultos.

Asimismo, se concluye que los resultados de algunos de los experimentos, a pesar de que sugieren la existencia de riesgo, este era bajo y no repetible. Se considera que los estudios relacionados con la proximidad poblacional a antenas de radio tenían deficiencias en la metodología empleada, además de que el riesgo era bajo. Se tuvieron dudas en cuanto a los hallazgos de riesgos, debido a que había una pobre reproducibilidad de dichos hallazgos y a que las pruebas con humanos y animales no ofrecían un patrón claro de respuestas biológicas inducidas por CEM.

Finalmente, se concluye que no había un mecanismo factible para demostrar que los campos de radiofrecuencias pudieran tener algún efecto a nivel menor que el del calor [24].

Los reportes que se han emitido por la ahora Institution of Engineering and Technology (IET), en el 2006, 2008 y 2010, han mantenido esa posición sin cambios sustanciales [25].

### 5.2. Reporte de la International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (2004)

La International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) cubre la evidencia epidemiológica relacionada con posibles efectos de salud cuando ocurre exposición a largo plazo a campos de radiofrecuencias de entre 100 kHz y 300 GHz. Describe las fuentes y la distribución de la exposición en la población; revisa los riesgos de cáncer, enfermedades cardiovasculares, alteraciones en el producto durante el embarazo y formación de cataratas asociadas con la exposición durante la jornada laboral. También revisa el riesgo de leucemia en individuos, viviendo cerca de

transmisores de radiofrecuencias; por último, revisa el riesgo de cáncer cerebral y neuromas acústicos derivados del uso de TM.

Se concluye que el material producto de esta investigación, hasta ese momento, no brindaba evidencia consistente o convincente de una relación entre los campos de radiofrecuencias y algún efecto negativo en la salud. Asimismo, se concluye que había poca información sobre la exposición poblacional a fuentes de radiofrecuencias y, aún menos, sobre la importancia relativa de fuentes diferentes [26]. Entonces, se considera que, como trabajo futuro, es necesaria mayor investigación.

### **5.3. Reporte de la Organización Mundial de la Salud (2004)**

En el 2004, se llevó a cabo en Estambul un taller para analizar si había mayor sensibilidad a los CEM en los niños. Algunos patrocinadores fueron la International Commission For Nonionizing Radiation Protection (ICNIRP) y la Comisión Europea.

Hubo diferencias dosimétricas y biológicas claras entre niños y adultos, pero no hubo evidencia de que los niños fueran susceptibles a niveles de radiofrecuencias menores a los valores guía de la ICNIRP. Debido a la falta de investigación en la materia, se hicieron propuestas para adquirir mayor conocimiento, aunque por problemas éticos muchas fueron descartadas. El modelado animal también fue planteado, aunque la interpretación de las consecuencias en la salud sería más difícil. Sobre este modelado se propusieron estudios acerca del sistema nervioso, el crecimiento neuronal y mecanismos de interacción no térmicos. Por último, se emitieron recomendaciones sobre estudios dosimétricos más a profundidad, incluyendo el desarrollo de modelos dosimétricos de la deposición de energía de radiofrecuencias en niños y fetos [27].

Nuevamente, más investigación es necesaria ante resultados no concluyentes.

## **6. Discusión**

Aunque los resultados no son concluyentes y existen preguntas sobre la seguridad que brinda el equipo electrónico portátil inalámbrico que emite radiación no ionizante en el espectro electromagnético, en este documento se analizó la investigación en el área utilizando recursos de aprendizaje basados en los proyectos y estudios que lo estructuran. Como se puede advertir, la controversia es amplia y no concluyente.

Entonces, aunque existe mucha investigación en el área, con rigurosos análisis, los organismos y los investigadores responsables han reportado que los resultados no son definitivos, y que, además, se carece de una muestra importante debido a que los equipos electrónicos inalámbricos son dispositivos relativamente nuevos que continúan en un proceso constante de evolución.

De manera homóloga, las instituciones generadoras de medidas y estándares de salud continúan fomentando la investigación en el ámbito, puesto que se considera que se requiere más investigación, de tal manera que los usuarios y los demás individuos que se encuentren en contacto con esa tecnología estén protegidos, en cuanto a salud se refiere.

## **7. Conclusiones**

La investigación en el área ha permitido el desarrollo de tecnologías que buscan reducir la exposición del ser humano a campos electromagnéticos emitidos por dispositivos como teléfonos celulares. Hace algunos años era impensable crear tecnologías que actual-

mente son una realidad. De manera análoga, la importancia del desarrollo tecnológico era mayor que la del desarrollo en áreas de salud, tanto pública como personal.

En referencia a los sistemas o medios de comunicación, se ha puesto especial énfasis en la portabilidad, eficiencia, miniaturización y alcances de cada dispositivo, siendo su evolución la raíz de su auge. Cuando nace uno nuevo, se busca extender sus capacidades, por lo que a menudo no se conocen por completo los efectos que este pudiera tener en el usuario debido a que las tecnologías en que se basan continúan en desarrollo y, por ende, no son del todo conocidos por el inventor. No existe, hasta ahora, una respuesta contundente a las preguntas planteadas: ¿Qué efectos ocasiona la radiación no ionizante producida por equipo electrónico portátil en la salud humana? y ¿Existe algún método sólido que brinde certeza sobre los resultados obtenidos por las investigaciones en el área? , la investigación no es concluyente: es necesario analizar exhaustivamente lo que ya se tiene para aportar en el área. Por tanto, siendo necesario desarrollar tecnología para mejorar la calidad de vida humana, el reemplazo o mejora de aquellas que pudiesen llegar a representar un peligro para el hombre resulta factible; o en su defecto, se debe generar el ambiente adecuado que permita su uso en un entorno seguro, con el mínimo riesgo. En el campo de las comunicaciones, de acuerdo al análisis realizado, existen mejoras que continuamente representan mayor seguridad para quien usa los dispositivos inalámbricos portátiles.

## Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a las instituciones u organizaciones, colaboradores directos e indirectos, que han permitido el desarrollo del presente proyecto de Investigación.

## Referencias

- [1] R. Alvarado-Corona, y J. Santos Reyes, *Applying MORT to the analysis of the Haiti's earthquake*, *Disaster Advances*, vol. 5, no. 4, 2012.
- [2] Mobile Phones UK (n.d), *SAR ratings and mobile phone health* [en línea], disponible: <http://www.mobile-phones-uk.org.uk/sar.htm>, consultado: 3 de marzo de 2012.
- [3] I. Wolf, *Cellular telephone shield for the reduction of electromagnetic radiation exposure*. U.S. Patent 20,130,035,142, issued February 7, 2013.
- [4] S. Lagorio, y M. Röösli, *Mobile phone use and risk of intracranial tumors: A consistency analysis*, *Bioelectromagnetics*, vol. 35, no. 2, pp. 79-90, 2013.
- [5] Community Research and Development Information Service (Cordis), *Potencial adverse effects of GSM cellular phones on hearing* [en línea], disponible: [ec.europa.eu/research/quality-of-life/ka4/pdf/report\\_guard\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/quality-of-life/ka4/pdf/report_guard_en.pdf), consultado: 26 de febrero de 2012.
- [6] Community Research and Development Information Service (Cordis), *Combined effects of electromagnetic fields with environmental carcinogens* [en línea], disponible: [ec.europa.eu/research/environment/pdf/env\\_health\\_projects/electromagnetic\\_fields/e-cemfec.pdf](http://ec.europa.eu/research/environment/pdf/env_health_projects/electromagnetic_fields/e-cemfec.pdf), consultado: 26 de febrero de 2012.
- [7] Community Research and Development Information Service (Cordis), *Risk evaluation of potential environmental hazards from low energy electromagnetic field exposure using sensitive in vitro methods* [en línea], disponible: [ec.europa.eu/research/environment/pdf/env\\_health\\_projects/electromagnetic\\_fields/e-reflex.pdf](http://ec.europa.eu/research/environment/pdf/env_health_projects/electromagnetic_fields/e-reflex.pdf), consultado: 26 de febrero de 2012.
- [8] Community Research and Development Information Service (Cordis), *Risk assessment for exposure of nervous system cells to mobile telephone EMF: from in vitro to in vivo studies* [en línea], disponible: [ec.europa.eu/research/environment/pdf/env\\_health\\_projects/electromagnetic\\_fields/e-ramp2001.pdf](http://ec.europa.eu/research/environment/pdf/env_health_projects/electromagnetic_fields/e-ramp2001.pdf), consultado: 26 de febrero de 2012.
- [9] E. Cardis, L. Richardson, I. Deltour, B. K. Armstrong, M. Feychting, C. Johansen et ál., "The Interphone study: design, epidemiological methods, and description of the study population", *Eur J Epidemiol*, vol. 22, no. 9, pp. 647-42, 2007.
- [10] M. J. Schoemaker, A. J. Swerdlow, A. Ahlbom, A. Auvinen, K. G. Blaasaas, E Cardis et ál., "Mobile phone use and risk of acoustic neuroma: results of the interphone case-control study in five North European countries" [en línea], *Br J Cancer*, vol. 93, no. 7, pp. 842-48, 2005, disponible: <http://www.nature.com/bjc/journal/v93/n7/pdf/6602764a.pdf>, consultado: marzo 21 de 2012.
- [11] E. Cardis, I. Deltour, M. Vrijheid, E. Combalot, M. Moissonnier, H. Tardy et ál., "Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the Interphone international casecontrol study", *Int J Epidemiol*, vol. 39, no. 3, pp. 675-94, 2010.
- [12] E. Cardis, B. K. Armstrong, J. D. Bowman, G. G. Giles, M. Hours, D. Krewski et al., "Risk of brain tumors in relation to estimated rf dose from mobile phones: results from five Interphone countries" [en línea], *Occup Environ Med*, vol. 68, no. 9, pp.

- 631-40, Sep. 2011, disponible: <http://ije.oxfordjournals.org/content/39/3/675.full.pdf+html>, consultado: 21 de marzo de 2012.
- [13] International Agency for Research on Cancer (IARC), *IARC classifies radiofrequency electromagnetic fields as possibly carcinogenic to humans*, Lyon, Francia: IARC, 2011.
- [14] S. Larjavaara, J. Schüz, A. Swerdlow, M. Feychting, C. Johansen, S. Lagorio et al., "Location of gliomas in relation to mobile telephone use: a case-case and case-specular analysis", *Am J Epidemiol*, vol. 174, no. 1, pp. 2-11, jul. 2011, Tampere, Finlandia.
- [15] M. P. Ntzouni, A. Stamatakis, F. Sytlianopoulo y L. H. Margaritis, "Short term Memory in mice is affected by mobile phone radiation" [en línea], *Pathophysiology*, vol. 18, no. 3, pp. 193-99, jun. 2011, disponible: <http://kyttariki.biol.uoa.gr/ARTHRA/Ntzouni-et-al-2010-memory-in%20%20mice.pdf>, consultado: 21 de marzo de 2012.
- [16] F. J. García C, J. Peña Santamaría, I. Alonso Castañeira, E. Sebastián Gil y J. Marco Algarra, "Hearing level and intensive use of mobile phones", *Acta Otorhinolaryngol*, vol. 56, no. 5, pp. 187-91, may. 2005, Valencia, España.
- [17] N. Arai, H. Enomoto, S. Okabe, K. Yuasa, Y. Kamimura y Uga-wa, "Thirty minutes mobile phone use has no short-term adverse effects on central auditory pathways", *Clin Neurophysiol*, vol. 114, no. 8, 1390-94, ago. 2003, Tokio, Japón.
- [18] V. I. Ahamed, N. G. Karthick y P. K. Joseph, "Effect of mobile phone radiation on heart rate variability", *Comput Biol Med*, vol. 38, no. 6, pp. 709-12, jun. 2008, Kerala, India.
- [19] R. Mora, B. Crippa, F. Mora y M. Dellepiane, "A study of the effects of cellular telephone microwave radiation on the auditory system in healthy men", *Ear Nose Throat J*, vol. 85, no. 160, pp. 162-163, 2006, Génova, Italia.
- [20] M. Blettner, B. Schlehofer, J. Breckenkamp, B. Kowall, S. Schmiedel, U. Reis et al., "Mobile phone base stations and adverse health effects: phase 1 of a population-based, cross-sectional study in Germany", *Occup Environ Med*, vol. 66, no. 2, pp. 118-23, feb 2009, Mainz, Alemania.
- [21] G. Berg-Beckhoff, M. Blettner, B. Kowall, J. Breckenkamp, B. Schlehofer y S. Schmiedel et al., "Mobile phone base stations and adverse health effects: phase 2 of a cross-sectional study with measured radio frequency electromagnetic fields", *Occup Environ Med*, vol. 66, no. 2, pp. 124-30, feb 2009, Bielefeld, Alemania.
- [22] S. Dasdag, M. Z. Akdag, E. Ulukaya, A. K. Uzunlar, D. Yegin et. al., "Mobile phone exposure does not induce apoptosis on spermatogenesis in rat", *Arch Med Res*, vol. 39, no. 1, pp. 40-44, ene 2008. Diyarbakir, Turquía.
- [23] J. C. Villagrana Macías, A. Burciaga Ortega, R. Alvarado Corona y J. Santos Reyes, Prevención de riesgos a la salud humana causados por los CEM producidos por las líneas de alta tensión: caso de la Ciudad de México, México, D. F., 2009.
- [24] Institution of Electrical Engineers (IEE), The possible harmful biological effects of low-level electromagnetic fields of frequencies up to 300 GHz [en línea], IEE Position Statement, 2004, disponible: <http://ytdp.ee.wits.ac.za/POSTAT02final.pdf>, consultado: 21 de marzo de 2012.
- [25] Institution of Engineering and Technology (IET), The possible harmful biological effects of low level electromagnetic fields of frequencies up to 300 GHz, IET Position Statement, 2010 [en línea], disponible: <http://www.theiet.org/factfiles/bioeffects/emf-position-page.cfm?type=pdf>, consultado: 21 de marzo de 2012.
- [26] A. Ahlbom, A. Green, L. Kheifets, D. Savitz, A. Swerdlow y ICNIRP (International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection), "Epidemiology of health effects of radiofrequency exposure" [en línea], *Environ Health Perspect*, dic. 2004, disponible: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1253668/pdf/ehp0112-001741.pdf>, consultado: 21 de marzo de 2012.
- [27] World Health Organization (WHO), WHO workshop sensitivity of children to EMF exposure [en línea], disponible: [who.int/pehemf/meetings/children\\_turkey\\_june2004/en/index1.htm](http://who.int/pehemf/meetings/children_turkey_june2004/en/index1.htm), consultado: 2 de marzo de 2012.