

José María Yturralde. Serie *Eclipse*, 2006. Acrílico sobre lienzo, 41x41 cm.

UNA PREOCUPACIÓN SOCIAL

RADIACIONES NO IONIZANTES, COMUNICACIONES MÓVILES Y SUS EFECTOS EN LA SALUD

Mercedes Martínez Búrdalo, Agustín Martín Muñoz y Raimundo Villar Gómez

Social Concern. Non-ionizing Radiation, Mobile Communication and their Effects on Health.

This article focuses on human exposure to non-ionizing electromagnetic fields, including exposure to radiofrequency (RF) energies produced by communication equipment, mobile phones, base-station antennas and other sources. The authors relate some basic concepts concerning these fields and discuss how the human body responds to exposure to these types of radiation. They outline the international guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields and providing protection against the adverse health effects known so far. Symptoms and other non-confirmed effects derived from such exposure will also be discussed.

El mundo está cambiando constantemente. Cada vez se inventan nuevas y más poderosas tecnologías que están transformando nuestra forma de vida, generalmente para mejorarla. Esto supone un cambio de nuestro entorno medioambiental, no siempre exento de riesgos. Aunque con el conocimiento científico actual no se puedan reducir a cero, sí que es posible controlarlos mediante el establecimiento de las adecuadas medidas de precaución. A veces, se critica la introducción de nuevas tecnologías sin haber estudiado previamente los riesgos que pudieran surgir como consecuencia de su uso. En el caso de las comunicaciones móviles no se trata de tecnologías totalmente desconocidas ya que las radiocomunicaciones comenzaron a utilizarse a principios del siglo pasado con los primeros experimentos sobre telegrafía sin hilos de Edward Branly en el año 1902. Después vinieron la radio, los radares, la televisión y otros dispositivos tales como el horno de microondas, sin que saltasen las alarmas hasta finales de siglo, coincidiendo con el uso a gran escala de los sistemas y dispositivos de comunicaciones móviles.

En este artículo se pretende aminorar en lo posible la preocupación social existente en torno a las radiaciones no ionizantes surgida como consecuencia del uso de las

tecnologías mencionadas. Para ello se describen someramente los principios que las rigen y las consecuencias de la interacción que mantienen con la materia viva, estableciendo las diferencias con las radiaciones ionizantes. Así mismo, se hace referencia a las normas que desarrollan organismos nacionales e internacionales para evitar daños en el ser humano debidos a los efectos biológicos conocidos de dichas emisiones. También se hace mención a algunos síntomas descritos por personas expuestas a ciertas fuentes de emisión de campos electromagnéticos de naturaleza no ionizante y a otros efectos cuya relación con la exposición humana a dichos campos no está aceptada por la comunidad científica en su conjunto. No obstante, se acepta que se continúe, con mayor precisión y rigor,

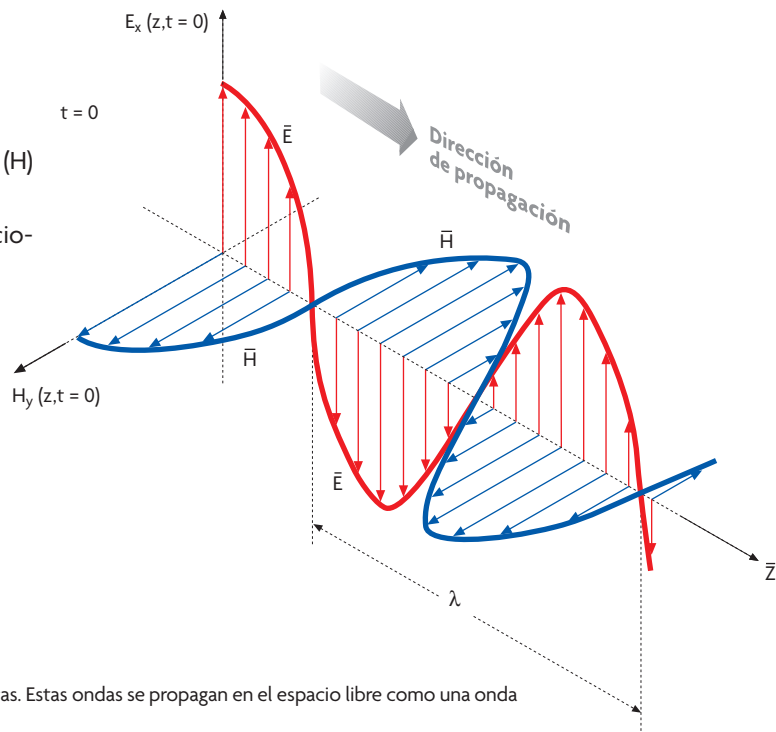
la investigación de estos posibles efectos no demostrados científicamente en la actualidad, pero que siguen generando gran preocupación social.

■ CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS Y RADIACIONES NO IONIZANTES

La fuente más conocida de energía electromagnética natural es el Sol, sin el cual la vida en la Tierra no sería posible. Pensemos simplemente en la necesidad de

**«LA FUENTE MÁS
CONOCIDA DE ENERGÍA
ELECTROMAGNÉTICA
NATURAL ES EL SOL,
SIN EL CUAL LA VIDA
EN LA TIERRA NO SERÍA
POSIBLE»**

- Los campos eléctricos (E) y magnéticos (H) tienen naturaleza vectorial.
- La frecuencia f es el número de oscilaciones por segundo.
- La longitud de onda es $\lambda = c / f$.
- c = velocidad de la luz en el vacío.



Esquema de propagación de ondas electromagnéticas. Estas ondas se propagan en el espacio libre como una onda plana, a grandes distancias de las fuentes.

luz y calor para que se pueda realizar la función clorofílica de las plantas. El Sol emite radiaciones en todo el espectro electromagnético de frecuencias, desde las correspondientes a las radiaciones ionizantes (rayos X, rayos γ y radiaciones cósmicas), pasando por las radiaciones ópticas, no ionizantes, así como por las frecuencias de radiocomunicaciones, llegando hasta las de frecuencia muy baja como las producidas por líneas de alta tensión y electrodomésticos. Igualmente existen en el ambiente natural de nuestro planeta radiaciones procedentes de las estrellas y de otros cuerpos del espacio exterior a la Tierra.

Del mismo modo que vivimos rodeados de campos electromagnéticos naturales, tenemos un entorno de campos electromagnéticos producidos por la actividad humana. Así, tenemos como ejemplos de radiaciones electromagnéticas no ionizantes desde las de baja frecuencia de electrodomésticos como lavadoras o secadores de pelo hasta las de alta frecuencia de hornos de microondas, teléfonos móviles, antenas de estaciones base, de radio y televisión, dispositivos WiFi, etc.

«LAS RADIACIONES NO IONIZANTES INCLUYEN TODOS LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS QUE NO TIENEN ENERGÍA SUFICIENTE PARA IONIZAR LA MATERIA, COMO ES EL CASO DE LA LUZ VISIBLE, LA INFRARROJA O LA TELEFONÍA MÓVIL.»

Teniendo en cuenta que las radiaciones electromagnéticas consisten en fotones de distinta energía, las radiaciones no ionizantes incluyen todos los campos electromagnéticos que no tienen energía suficiente para ionizar la materia, como es el caso de la luz visible, la infrarroja, la telefonía móvil y las radiaciones de frecuencias extremadamente bajas como las de las líneas de alta tensión. Es decir, la energía de los fotones asociados a dichas radiaciones no es suficiente para arrancar

electrones de los átomos de las moléculas que constituyen nuestro organismo y producir ionización.

En los medios de comunicación suele utilizarse generalmente el término *campo electromagnético* para referirse a la radiación no ionizante. Los campos eléctricos (E) y magnéticos (H) pueden originarse por el movimiento de cargas eléctricas en un material conductor, dando lugar a ondas electromagnéticas que se propagan en el espacio libre como una onda plana, a grandes distancias de las fuentes. Estas ondas llevan asociadas una energía cuya transmisión constituye la denominada radiación electromagnética. En una determi-

nada dirección de radiación, la potencia de la onda disminuye rápidamente según va aumentando la distancia a la fuente.

Los fenómenos electromagnéticos fueron descritos en 1865 por James Clerk Maxwell mediante sus famosas ecuaciones. Los campos eléctricos y magnéticos se comportan de manera diferente, alcanzando distintos valores según sean sus características de frecuencia, intensidad, etc., y dependen, además, de las propiedades del medio material en el que se propagan, ya sea tejido biológico u otro tipo de materia, y con el cual interactúan.

En el cuadro anexo se representa la parte del espectro electromagnético de radiaciones electromagnéticas no ionizantes de frecuencias inferiores a la de la luz visible. Dejando aparte las frecuencias ópticas, conocidas principalmente como radiaciones ópticas, descendemos a los campos electromagnéticos propiamente dichos. Estos campos abarcan las frecuencias comprendidas entre 0 y 300 GHz. En dicho espectro

aparecen dos regiones fundamentales, una es la región de radiofrecuencias, entre 3 kHz y 300 GHz, en la que se incluyen los campos producidos por las estaciones de radio, televisión, telefonía móvil y otros que se indican en el mencionado cuadro. Concretamente, es en la zona de microondas, que se muestra como una subregión de la de radiofrecuencia, donde se ubican las comunicaciones móviles. La otra región de dicho espectro es la de bajas y extremadamente bajas frecuencias, que se extiende

desde los campos estáticos de las resonancias magnéticas hasta los campos de las líneas de alta tensión y los electrodomésticos.

«EN LA EXPOSICIÓN A EMISIONES DE FUENTES DE RADIOFRECUENCIA SITUADAS LEJOS DEL CUERPO HUMANO, COMO OCURRE CON LAS ANTENAS DE ESTACIÓN BASE DE TELEFONÍA MÓVIL, SE HAN DESCRITO SÍNTOMAS COMO FATIGA, DOLOR DE CABEZA O DIFICULTAD DE CONCENTRACIÓN»

■ EFECTOS BIOLÓGICOS DE LAS EMISIONES DE LAS COMUNICACIONES MÓVILES

Desde que en el año 1600 William Gilbert hiciera sus experimentos sobre electricidad y magnetismo hasta nuestros días ha existido un interés creciente en conocer las propiedades y aplicaciones de los campos electromagnéticos. Así, tenemos el experimento sobre neu-

Frecuencia Longitud de onda	Regiones del espectro de frecuencias no ionizantes inferiores a la luz visible			Fuentes productoras	
300 GHz 1 mm	MICROONDAS	RADIOFRECUENCIA (RF)	CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS	<ul style="list-style-type: none"> • Estaciones de seguimiento de satélites • Telecomunicaciones por microondas • Radar de control de tráfico aéreo • Hornos de microondas • Antenas de TV • Telefonía móvil 	
30 GHz 1 cm					Frecuencia Extra-Alta (EHF)
3 GHz 1 dm					Frecuencia Súper-Alta (SHF)
300 MHz 1 m					Frecuencia Ultra-Alta (UHF)
30 MHz 1 Dm	Frecuencia Muy Alta (VHF)	<ul style="list-style-type: none"> • Transmisores HF • Máquinas de soldadura de PVC 			
3 MHz 1 km	Frecuencia Alta (HF)				
300 kHz 10 km	Frecuencia Media (MF)				
30 kHz 100 km	Frecuencia Baja (LF)				
3 kHz 1.000 km	Frecuencia Muy Baja (VLF)				
300 kHzm 10.000 km	Frecuencia de Voz (VF)				
30 Hz 100.000 km	Frecuencia Extremadamente Baja (ELF)				
0 Hz	Sub-ELF		<ul style="list-style-type: none"> • Líneas de alta tensión • Electrodomésticos • Resonancias magnéticas 		

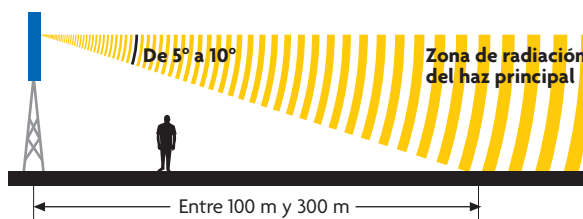
El espectro electromagnético de las radiaciones no ionizantes abarca las frecuencias comprendidas entre 0 y 300 GHz. El cuadro muestra las regiones y fuentes productoras de estas ondas, entre las que encontramos aparatos tan cotidianos como hornos microondas o teléfonos móviles.

Gama de frecuencias (f)	Intensidad de campo E (V/m)	Intensidad de campo H (A/m)	Campo B (μT)	Densidad de potencia de onda plana equivalente, S (W/m^2)
0,1 Hz	—	$3,2 \times 10^4$	4×10^4	—
1-8 Hz	10.000	$3,2 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^4/f^2$	—
8-25 Hz	10.000	$4.000/f$	$5.000/f$	—
0,025-0,8 kHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$	—
0,8-3 kHz	$250/f$	5	6,25	—
3-150 kHz	87	5	6,25	—
0,15-1 MHz	87	$0,73/f$	$0,92/f$	—
1-10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0,73/f$	$0,92/f$	—
10-400 MHz	28	0,073	0,092	2
400-2.000 MHz	$1,375 f^{1/2}$	$0,0037 f^{1/2}$	$0,0046 f^{1/2}$	$f/200$
2-300 GHz	61	0,16	0,20	10

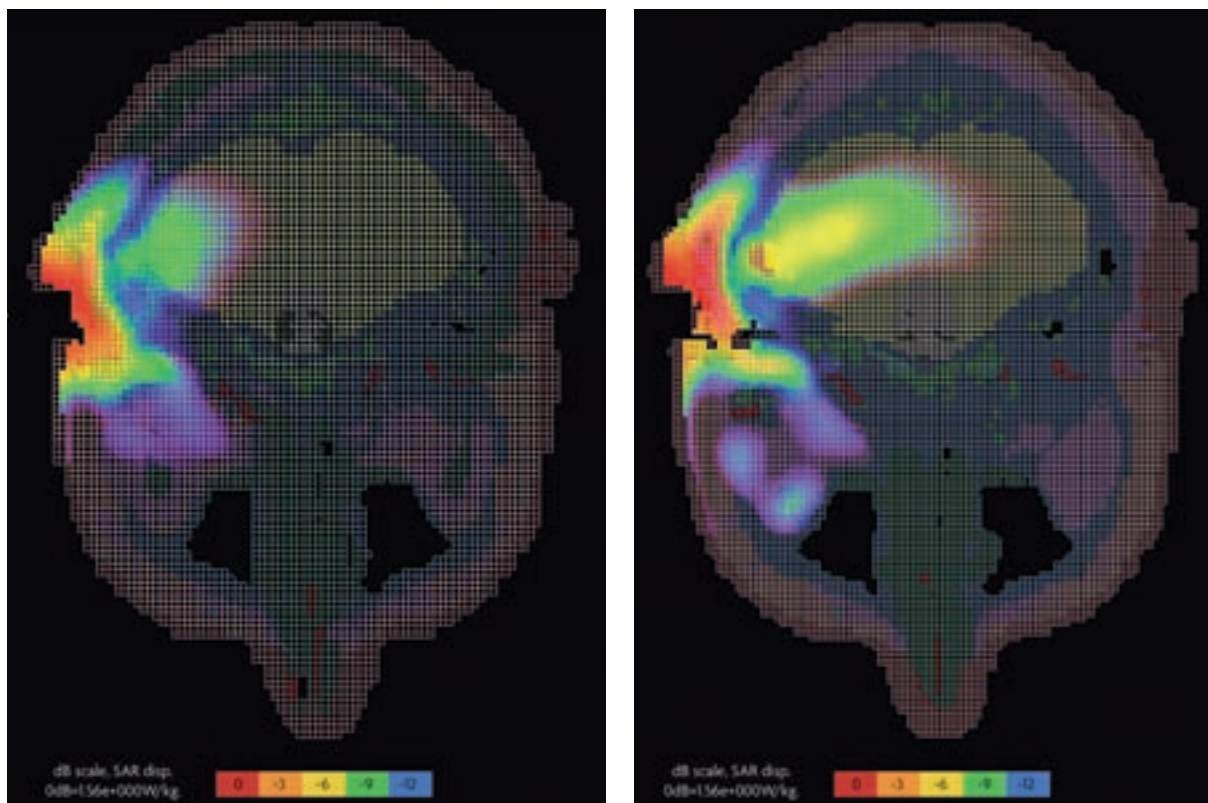
Los niveles de referencia que se muestran en esta tabla son los que se siguen en la Unión Europea. Son más estrictos que las restricciones básicas adoptadas por el Consejo de la UE y por tanto implican todavía más seguridad.

roestimulación del italiano Luigi Galvani en 1780, que describía esta propiedad de los campos de baja frecuencia y, posteriormente, los del francés D'Arsonval, que en 1892 hizo los experimentos de calentamiento controlado del cuerpo humano, en campos de alta frecuencia, que constituyen el origen de los tratamientos de diatermia usados en medicina. Pero verdaderamente fue en 1860 cuando Maxwell revolucionó el conocimiento de los campos electromagnéticos dando origen a un nuevo concepto del electromagnetismo que ha servido para estudiar las aplicaciones de los campos y sus efectos. Los campos de radiofrecuencias, de frecuencias superiores a 100 KHz, dan lugar a una absorción de energía cada vez más importante según aumenta la frecuencia. A frecuencias inferiores a 1 MHz (antenas de radiodifusión de AM, radiotelefonos marinos, etc.), el efecto fundamental observado en ciertas situaciones de exposición humana no controladas y que no son las habituales, es una estimulación de nervios y músculos producida por las corrientes inducidas en el organismo, por lo que el factor limitativo en este caso de exposición es la densidad de corriente. Sin embargo, la mayor parte de los efectos nocivos para la salud que pueden producirse por la exposición a campos de entre 1 MHz y 10 GHz (antenas de radiodifusión de FM, de televisión, de telefonía móvil, de teléfonos móviles, etc.), en situaciones de exposición no controladas, se asocian a respuestas a procesos de calentamiento inducido que podrían dar lugar a un aumento de la temperatura tisular o corporal superior a 2 °C. Dicho calentamiento inducido podría producir respuestas fisiológicas tales como una disminución de la capacidad para desempeñar tareas mentales y físicas si el aumento de la temperatura corporal fuese excesivo. Por encima de los 10 GHz y hasta los 300 GHz (radares, enlaces por microondas, etc.), el calentamiento se produce en la superficie corporal.

«LA PREOCUPACIÓN POR LA EXPOSICIÓN A ANTENAS DE TELEFONÍA MÓVIL CONTINÚA SIENDO MUY IMPORTANTE, A PESAR DE QUE LOS NIVELES MEDIDOS ESTÁN CIENTOS DE VECES POR DEBAJO DE LOS LÍMITES DE SEGURIDAD»



Los individuos situados cerca de la base de una antena de telefonía móvil no sufren prácticamente exposición al haz de radiación.



Distribuciones de la tasa de absorción específica (SAR) promediada a 1 gramo para los modelos de adulto (izquierda) y niño de diez años (derecha). En esta imagen se pueden apreciar las diferencias entre la SAR de las dos cabezas expuestas al mismo nivel de potencia de la radiación de un teléfono móvil, con una frecuencia 900 MHz y una potencia radiada de 250 mW, a una distancia entre la antena y la cabeza de 1,5 metros.

Para evitar los mencionados efectos nocivos de las radiofrecuencias es necesario restringir, con objeto de que no se sobrepasen ciertos límites, lo que se denomina tasa de absorción específica, denominada en inglés *Specific Absorption Rate* (SAR), parámetro que se obtiene a partir del conocimiento de los campos eléctricos internos existentes en las diferentes partes del organismo humano, consecuencia de la interacción de los tejidos con el campo de exposición. Sin embargo, las normas de seguridad especifican también valores más fácilmente medibles que la tasa de absorción específica, denominados niveles de referencia, como son la intensidad de campo eléctrico y magnético externos (E y H) o la densidad de potencia de onda plana equivalente (S) en el lugar de ubicación de la persona.

En Europa, el principio de precaución establecido en el Tratado de Maastricht exigía a los organismos responsables acciones de protección de los ciudadanos contra las radiaciones no ionizantes. En este sentido, el Consejo de la Unión Europea adoptó la Recomendación 1999/5191/CE, relativa a la exposición del público a campos electromagnéticos de frecuencias entre 0 y 300 GHz. Dicha recomendación, que limita la exposición a

las radiaciones en el mencionado margen de frecuencias, está basada en las directrices que en el año 1998 publicó la Comisión Internacional sobre Protección contra las Radiaciones no Ionizantes (ICNIRP), a partir de los efectos conocidos de dichas radiaciones. Éstos son fundamentalmente térmicos en el caso de la emisión de radiofrecuencias y de inducción de corrientes en el caso de las bajas frecuencias. Se adoptaron las restricciones básicas con un factor de seguridad de 50 respecto de los efectos nocivos comprobados, estableciéndose como límite de la tasa de absorción SAR, cuando se calcula localmente, el valor de 2 W/kg. Sin embargo, a efectos prácticos se usan una serie de niveles de referencia, que implican todavía una mayor seguridad, de manera que pudieran hipotéticamente no cumplirse los niveles de referencia y sí verificarse las restricciones básicas.

No obstante, para poder utilizar como nivel de referencia la densidad de potencia de onda plana equivalente, es necesario que la irradiación se produzca en las condiciones denominadas de campo lejano, es decir, que la distancia a la que se encuentre el sujeto de la fuente emisora debe ser mucho mayor que la longitud de onda de la señal, como ocurre en el caso de las an-



Hay que prestar especial atención a la exposición de niños y adolescentes a las radiofrecuencias, ya que son más sensibles que los adultos. El móvil es una fuente de este tipo de emisiones.

tenas de las estaciones base de telefonía móvil. Para situaciones de individuos cerca de la base de una antena no existe prácticamente exposición, por estar situados fuera y debajo del haz de radiación principal de la antena. Sin embargo, la radiación lejana de la antena, recibida a efectos prácticos en forma de onda plana electromagnética, en una determinada dirección disminuye con el cuadrado de la distancia a dicha antena.

Por el contrario, si la exposición se produce a distancias de la fuente iguales o inferiores a la longitud de onda de las emisiones, como es el caso de los teléfonos móviles, se dice que se está en condiciones de campo próximo y entonces es necesario determinar la tasa específica de absorción (SAR) para valorar la exposición.

Dicha valoración implica la utilización de métodos numéricos, que necesitan tener en cuenta las características eléctricas del cuerpo humano. En estas últimas condiciones, la SAR depende fundamentalmente del tamaño de las zonas del cuerpo expuestas así como de las características de los tejidos y de su entorno.

En España, al igual que en la mayoría de los países europeos, se ha adoptado la recomendación europea. El Decreto 1066/2001 se estableció a escala nacional con el fin de proteger a las personas de la exposición a campos electromagnéticos procedentes de las emisiones radioeléctricas. Posteriormente se estableció en el Decreto 694/2002 un factor adicional de seguridad en los niveles de decisión. En dichos decretos se dictan normas



© Miguel Lorenzo

para garantizar que los equipos y dispositivos de radio-comunicaciones cumplan los límites recomendados. Todo el proceso relacionado con la norma y su posterior implantación, ha sido avalado por un comité de expertos. La Comisión Europea, por su parte y con su propio comité de expertos, se encarga de vigilar los avances producidos en la investigación científica sobre campos electromagnéticos en relación con la salud, por si hubiera lugar a una nueva acción reguladora de la exposición a dichos campos. Hasta el momento no ha considerado necesario cambiar los límites de la Recomendación de 1999.

■ OTROS EFECTOS Y SÍNTOMAS

Los efectos biológicos de las radiofrecuencias que no se corresponden con los anteriormente mencionados efectos térmicos son denominados efectos atérmicos. En los últimos años han aparecido algunas publicaciones de estudios relacionados con la producción de tumores, consecuencia de la exposición a emisiones de radiofrecuencias, a niveles inferiores a los establecidos en las normativas.

En lo que respecta a la exposición a emisiones de fuentes de radiofrecuencia situadas lejos del cuerpo humano, como ocurre con las antenas de estación base de telefonía móvil, se han descrito síntomas denominados de hipersensibilidad a las microondas. Tales síntomas consisten, por ejemplo, en fatiga, dolor de cabeza, dificultad de concentración, etc. Estos síntomas, aunque reales, no han podido ser relacionados científicamente con la exposición a radiofrecuencias. Tampoco se ha podido comprobar su relación con una fuente concreta de emisiones, ya que faltan estudios sobre la contribución relativa de las diferentes fuentes de exposición (antenas de estaciones base, teléfonos móviles, etc.), en cada individuo. Otros efectos sobre los sistemas nervioso y reproductivo, así como de inducción de cáncer, no han podido ser demostrados hasta el momento. En lo que respecta al uso de teléfonos móviles, en los que la exposición se produce más próxima a la cabeza del individuo, según últimos estudios, se descarta la producción de tumores cerebrales en adultos. Estas conclusiones han sido publicadas recientemente por el Comité Científico sobre Riesgos Emergentes y de Identificación Reciente, de la Comisión Europea.

“LOS CIUDADANOS TIENEN DERECHO A INFORMACIÓN SOBRE CUALQUIER RIESGO RELACIONADO CON LA EXPOSICIÓN A LAS RADIOFRECUENCIAS DE LA TELEFONÍA MÓVIL O A CUALQUIER OTRO TIPO DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO PRODUCIDO POR LAS TECNOLOGÍAS ACTUALES O FUTURAS”

Últimamente, ha surgido una nueva preocupación social debida a la exposición a otras nuevas tecnologías de radiofrecuencias inalámbricas, como los dispositivos WiFi, que se están implantando en colegios y otras zonas de uso colectivo de Internet. Hay que señalar que la potencia de emisión de dichos dispositivos es menor que la de los teléfonos móviles. Además, como la exposición se produce a mayor distancia de las fuentes, los campos electromagnéticos son de menor intensidad y, por lo tanto, el nivel de exposición es menor que en el caso de utilización de teléfonos móviles.

En España, la preocupación por la exposición a antenas de telefonía móvil continúa siendo muy importante, a pesar de que los niveles medidos, publicados por el Ministerio de Industria, están cientos de veces por debajo de los límites de seguridad establecidos en la normativa española y en la recomendación europea. Los ciudadanos tienen derecho a información sobre cualquier riesgo relacionado con la exposición a las radiofrecuencias de la telefonía móvil o a cualquier otro tipo de campo electromagnético producido por las tecnologías actuales o futuras. Es necesario contribuir, desde la responsabilidad que a cada ente le corresponda, a mejorar la aceptación social de las nuevas tecnologías, que tienen como objetivo fundamental mejorar nuestra calidad de vida, siendo conscientes de que el riesgo cero no existe.

En el momento actual, todas las recomendaciones de expertos apuntan a que es necesario que continúen las investigaciones sobre exposición a las radiofrecuencias, teniendo en cuenta la contribución parcial de las diferentes fuentes de frecuencia al nivel total de exposición del cuerpo humano. También se aconseja tener especial cuidado con la exposición de niños y adolescentes, más sensibles a estas emisiones, sobre todo teniendo en cuenta que no se dispone de estudios epidemiológicos concretos para estos casos, y que el uso de los teléfonos móviles por parte de este sector de la población es cada vez mayor. ☺

Mercedes Martínez Búrdalo, Agustín Martín Muñoz y Raimundo Villar Gómez. Departamento de Radiación Electromagnética. Instituto de Física Aplicada (IFA), CSIC. Madrid.