

Campos electromagnéticos y salud (III): normativas y recomendaciones

Se analizan las normativas que se están implantando en diferentes países sobre los efectos de la radiación electromagnética. En Rusia y China existe una normativa muy severa. En Noruega no se permite la instalación de antenas ni en colegios ni en parvularios. En Italia, las antenas de radiodifusión no pueden superar los 6 V/m.

Existen diversas normativas internacionales sobre los límites aconsejables ante una exposición a campos electromagnéticos para evitar sus efectos nocivos. Sin embargo, no existen estándares de obligado cumplimiento, y son las legislaciones respectivas de los distintos gobiernos que, en base a las referencias citadas, transforman en obligados los valores recomendados por los organismos especializados.

Las restricciones se expresan para unos parámetros biológicamente significativos, como la densidad de corriente inducida y/o la tasa de absorción específica, TAE. Sin embargo, como dichos parámetros no pueden medirse directamente se establecen unos niveles de referencia de fácil medición, como son las intensidades de los campos eléctricos, magnéticos y/o densidad de potencia.

En función de cuál sea la frecuencia y la distancia al foco u origen emisor se tienen en cuenta unos u otros parámetros radioeléctricos. En primer lugar hay que considerar si la zona de exposición se encuentra en “campo próximo” (*zona de Fresnel*) ó en “campo lejano” (*zona de Fraunhofer*). Cuando la zona en cuestión se encuentre en campo lejano, podremos manejar las unidades del campo eléctrico E (V/m), campo magnético H (A/m) y/o densidad de potencia S (W/m²), todas ellas relacionadas con la impedancia del medio, que se considera constante¹. Por el contrario, si la distancia al foco emisor es tal que teniendo en cuenta la λ radiada no se cumplen las condiciones de campo lejano² deberían medirse, en vez de la densidad de potencia S , las intensidades de los campos eléctrico y magnético, independientemente³.

Los campos electromagnéticos también pueden tener un efecto indirecto como una quemadura o conmoción. Pueden producirse cuando una persona toca un objeto conductor situado en un campo electromagnético de suficiente intensidad. Estos efectos se controlan especificando unos límites para las corrientes de contacto. Los valores límite o recomendados son

decididos por grupos de expertos que tienen en cuenta únicamente los efectos **térmicos**⁴ (a corto plazo) que se producen en el organismo, a partir de la siguiente hipótesis:

El flujo de energía calorífica que nuestro cuerpo debe disipar o transferir hacia el exterior debido al aumento de temperatura ocasionado por la absorción de energía electromagnética tiene que ser inferior al que normalmente manifiesta debido a los procesos metabólicos internos, o a otros fácilmente regulables (ejercicio físico, etc.)

Existen, sin embargo, estudios e informes cuyas conclusiones aseguran que exposiciones a campos electromagnéticos de intensidades inferiores a los niveles de referencia aconsejados por las distintas normativas internacionales, y que no producen una elevación sensible de la temperatura corporal, pueden tener otros efectos más graves sobre la salud. Se les conoce como efectos no térmicos. Citemos, al respecto, las siguientes referencias:

En el Informe “Posibles efectos sanitarios relacionados con el uso de radiotelefonos” del Grupo de Expertos de la Unión Europea constan las siguientes citas⁵:

“...no es posible garantizar de forma científica que los bajos niveles de radiación de microondas que no causan efectos perjudiciales para exposiciones relativamente cortas no causarán efectos adversos en exposiciones a largo-plazo”.

“...el Grupo de Expertos considera la crítica revisión de la existente literatura y de la investigación en curso de las subdisciplinas, genética, sistema inmunológico, y otros efectos, centrandó la atención principalmente en los efectos no-térmicos y particularmente en los que son relevantes para la salud humana y el uso de radiotelefonos”

Según declaraciones efectuadas el pasado año 2000 por el Dr. Neil Cherry de la Universidad de Lincon (Nueva Zelanda): *“Otra importante conclusión: la radiación del teléfono móvil produce efectos biológicos adversos, según más de 45 estudios publicados”.*

“Los nuevos teléfonos digitales son microondas. La señal es pulsante para producir la señal digital. Los pulsos son peores que las ondas continuas ya que causan daño celular y cáncer”.

“La radiación electromagnética está perjudicando los cerebros, corazones, embriones, hormonas y células. Es una amenaza para la vida inteligente en la tierra. La radiación electromagnética interactúa por resonancia con los cuerpos y las células, interfiere con la comunicación célula-a-célula, con el crecimiento y la regulación celular y está perjudicando la base genética de la vida”.

“Ya que nuestro cerebro detecta y usa señales de muy baja frecuencia como las resonancias de Schumann que tienen una intensidad media de aproximadamente 0,0000001 μ W/cm² no es sorprendente que con exposiciones que son millones de veces superiores, exista un mayor daño cerebral y un aumento del riesgo de tumor cerebral como respuesta a la dosis. Esta forma de desarrollo es indicativo de causa y efecto”.

Carlos Requejo, Geobiólogo y coordinador de GEA en Barcelona, afirma que el uso de la telefonía móvil está relacionado con el cáncer de piel, tumores cerebrales, el Alzheimer y produce alteraciones en el flujo iónico de la membrana celular, el ADN y el sistema inmunitario, además de estrés y otras alteraciones neurológicas. Alejandro Ubeda, PhD y Biólogo del Departamento de Investigación del Hospital Ramón y Cajal⁶, afirma que existen muchos trabajos experimentales, realizados *in vivo* o *in vitro*, que demuestran que campos electromagnéticos de niveles muy bajos, inferiores al valor medio del campo geomagnético y de frecuencias extremadamente bajas (50-60 Hz) pueden afectar desde macromoléculas a animales de laboratorio (mamíferos). Estos trabajos se han publicado en prestigiosas revistas, como *Cancer Research* y demuestran que niveles débiles de campos electromagnéticos pueden actuar como *carcinógenos*, es decir, como inductores de respuestas cancerosas en presencia de niveles bajos

de otros agentes cancerígenos ya sean químicos o físicos.

Jocelyne Leal, PhD y Jefa del Servicio de Electromagnetismo del Hospital Ramón y Cajal de Madrid afirma, en diversas entrevistas aparecidas en la prensa, que los estudios actuales sobre los posibles efectos de los campos electromagnéticos en la salud no son concluyentes pero sí arrojan una sospecha razonable de que su exposición puede aumentar el riesgo de padecer cáncer.

El Dr. Stefan Joss de la Unidad de Radiación No Ionizante de la Agencia Federal para el Medio Ambiente, Bosques y Paisajes (BUWAL) sita en Berna explica que “su trabajo es proteger al público, no solo de los agentes ya conocidos como perjudiciales, sino también de los agentes que podrían serlo”. Es partidario del principio precautorio, motivado por los “indicios verosímiles” de que la exposición crónica a bajos niveles puede ser perjudicial. Por ello es partidario de que se mantengan las exposiciones tan bajas como sea técnicamente factible y económicamente sostenible.

Los resultados de la investigación disponible hasta este momento aún no han podido demostrar bajo un consenso unánime de la comunidad científica esos efectos adversos por lo que, ninguna de las normas que se citarán a continuación proporcionan límites al respecto. En un artículo posterior comentaremos cuáles son dichos efectos biológicos así como los valores que, según determinados estudios, deberían contemplarse como seguros.

Exposición laboral y pública

Se define *exposición* como aquella que tiene lugar cuando una persona está sometida a un campo eléctrico, magnético o electromagnético o a corrientes de contacto distintas de aquellas que se originan por procesos fisiológicos del cuerpo y otros fenómenos naturales.

En las distintas normas o recomendaciones se distingue siempre entre dos situaciones de exposición que conviene diferenciar: laboral y pública.

Exposición laboral (profesional o controlada) es aquella a la que están sujetos los trabajadores en el ámbito empresarial determinado, durante un periodo de tiempo limitado (jornada laboral). Los límites son menos restrictivos que para la exposición pública pues se considera que los trabajadores están informados de los riesgos, la exposición es limitada y se conocen y utilizan los medios de protección necesarios. *Exposición pública (no controlada o incontrolada)* es aquella a la que está expuesta cualquier persona, de cualquier

edad y estado de salud, durante periodos de tiempo continuos que pueden llegar a ser de 24 horas. Los límites, por tanto, son más restrictivos y se obtienen aplicando factores o coeficientes de seguridad más elevados.

Restricciones básicas y niveles de referencia

Se definen como *restricciones básicas* aquellas restricciones de exposición a los campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos variables, basadas directamente en los efectos conocidos sobre la salud y en consideraciones biológicas. En función de la frecuencia, se utilizan distintos parámetros (densidad de corriente eléctrica J , tasa de absorción específica TAE, densidad de potencia S) para especificar las restricciones básicas sobre los campos electromagnéticos. De ellos, el único parámetro que puede medirse en el aire, para valorar la exposición individual, es la densidad de potencia S .

Los *niveles de referencia* son los que se ofrecen a efectos prácticos de evaluación de la exposición para determinar la probabilidad de que se sobrepasen las restricciones básicas. Los parámetros utilizados son, además de los citados en el párrafo anterior, los siguientes: intensidad de campo eléctrico E , intensidad de campo magnético H , inducción magnética B , corriente en extremidades I_p , y corriente de contacto I_c .

En aquellas situaciones en las que se produzca una exposición muy localizada, como ocurre con los teléfonos móviles, no es apropiado utilizar los niveles de referencia, sino evaluar directamente si se respeta la **restricción básica** localizada (TAE).

En cualquier situación particular de exposición, los valores medidos o calculados pueden compararse con los de referencia. El cumplimiento del nivel de referencia garantiza el respeto a la restricción básica pertinente. Si el valor medido sobrepasa el nivel de referencia no implica, necesariamente, que no se cumpla la restricción básica, por lo que será necesario comprobar si ésta se respeta.

Tasa de Absorción Específica (TAE)⁷

Los campos electromagnéticos transfieren energía a las cargas eléctricas a través de las fuerzas que ejercen sobre ellas (campo eléctrico) y provocándoles cambios de dirección (campo magnético).

La *Tasa de Absorción Específica* es un índice que representa la potencia absorbida por unidad de masa de tejido corpo-

ral y se expresa en unidades *Wattios por kilogramo* (W/kg). Esta magnitud puede ser promediada sobre toda la masa de un cuerpo expuesto o sobre cualquiera de sus partes (cabeza, tronco, miembros) así como durante todo el tiempo de exposición, en un pulso, o en un período modulado de radiación. La relación que existe entre la exposición y la distribución de la TAE no depende únicamente de las características de la radiación emitida (frecuencia, intensidad, polarización), sino también de las características de los cuerpos biológicos sometidos a la radiación (distancia, tamaño, peso y forma del usuario, etc.) El cuerpo humano tiene una superficie irregular, una geometría interna compleja y los parámetros dieléctricos de los distintos tejidos son diferentes (músculos, órganos, huesos, etc) por lo que las propiedades dieléctricas varían de un punto a otro del organismo.

Este parámetro es útil y válido en un determinado margen de frecuencias, por ejemplo entre 100 MHz a 10 GHz, incluyendo la banda de la telefonía móvil. Para frecuencias inferiores la TAE es despreciable, y para frecuencias superiores es más adecuado utilizar el concepto de Absorción Específica, AE (Specific Absorption, SA) que se define como el incremento de energía por unidad de masa (Julios/Kg) e indica la energía total depositada en el cuerpo⁸.

Para establecer un valor límite de referencia, se siguieron los criterios del *American National Standards Institute*⁹ (ANSI), que estableció en el año 1982 un valor TAE de **4 W/Kg**, para todo el cuerpo, adoptado después de observar, con experimentación animal, que no se producían efectos adversos para niveles de exposición inferiores¹⁰. Con valores superiores se observó, en ratas de laboratorio, una disfunción en su comportamiento. Por ejemplo se interrumpía una tarea asignada como puede ser la de presionar una palanca para iniciar otra distinta como la de ensalivarse la cola, lo cual no es más que una respuesta termorreguladora en dichos animales ante un exceso de calor. Este fue el criterio que se utilizó para fijar dicho límite. Sin embargo, hay bastantes opiniones que consideran que para el ser humano podría establecerse un límite superior.

Tomando esta referencia y aplicando un coeficiente de seguridad 10, se obtienen los valores límites de exposición **laboral**¹¹, que son valores medios promediados durante un periodo de 6 minutos:

- Para todo el cuerpo = **0,4 W/kg**
- Para cualquier gramo de tejido (1 g) = 8 W/kg

Esta consideración, permite, por tanto, estar expuesto a campos intensos pero durante periodos cortos de tiempo, siempre que no se superen los valores promedio.

Para una exposición **pública** se añade un factor de seguridad adicional de 5, por lo que se reduce en 50 veces el valor límite fijado por la ANSI en 1982. En este caso los valores límites aconsejados serían:

- Para todo el cuerpo = **0,08 W/kg**
- Para cualquier gramo de tejido (1 g) = 1,6 W/kg

Vemos, pues, que la deducción de los valores límite se efectúa con criterios de prudencia resultando valores muy por debajo de aquellos por encima de los cuales podrían producirse efectos negativos en la salud de las personas. El procedimiento seguido es simple: si hay evidencias que a partir de un determinado valor pueden producirse efectos nocivos, se elige un factor de seguridad que lo reduce y se adopta como valor límite, recomendándose que no sea superado.

Un valor de 4 W/Kg equivale a una disipación de calor comparable a la de una actividad física moderada, que nuestro organismo es capaz de termoregular sin sobreesfuerzo especial alguno¹². Sin embargo, por prudencia, se establece un factor de seguridad que reduce el valor que supuestamente podría ser "asimilado" por nuestro organismo sin dificultad alguna. Estos factores de seguridad pueden ser muy diversos, no están estandarizados y dependen de las entidades u organismos que los definan. Hay factores de seguridad de 10, 50, 100, y superiores, en función de si la exposición es laboral o pública (controlada o incontrolada)¹³. Algunos expertos, sin embargo, consideran insuficientes dichos coeficientes en base a determinados estudios que sugieren valores mucho más elevados para evitar un deterioro en nuestra salud a largo plazo.

La conclusión final es que el "valor límite recomendado" es una cantidad 10, 50, 100 o más veces inferior a aquél que se ha comprobado que no origina ningún problema. Por tanto, la disipación de energía absorbida por la interacción con los campos electromagnéticos no implicará ningún sobreesfuerzo especial para el sistema de regulación de nuestro organismo.

Cálculo de la TAE

En la práctica no es posible medir directamente en el cuerpo del usuario el valor del TAE por lo que se utilizan métodos numéricos o técnicas experimentales para obtener el valor de dicho parámetro a través de la evaluación de los parámetros

radioeléctricos asociados (intensidades de los campos eléctrico, magnético y/o densidad de potencia de radiación) que causan en el organismo expuesto unos valores de TAE determinados.

Para el caso particular de la telefonía móvil, se realizan medidas de laboratorio utilizando un modelo de simulación de cabeza humana que contiene un fluido con características dieléctricas similares a las del tejido biológico humano. Se sitúa, en la posición adecuada, un teléfono móvil transmitiendo al tiempo que una sonda mide las intensidades del campo electromagnético en el interior del modelo. Las medidas se toman para el caso más desfavorable, es decir, se simulan aquellas condiciones que requieren la máxima potencia de transmisión. Detectados los campos electromagnéticos, el sistema de medición los traduce en valores TAE¹⁴. Dado que el cuerpo humano interacciona de forma distinta según sea la frecuencia, los valores de la densidad de potencia también dependen de ella.

La TAE puede calcularse en la totalidad del cuerpo o en partes localizadas. La TAE de cuerpo entero es una medida ampliamente aceptada para relacionar los efectos térmicos adversos con la exposición a la radiofrecuencia.

A partir del campo eléctrico E puede calcularse, aproximadamente, el valor de la TAE mediante la siguiente expresión¹⁵, bajo el supuesto de campos electromagnéticos sinusoidales:

$$TAE = SAR = \sigma_{\text{eff}} E_{\text{rms}}^2 / \rho$$

donde

σ_{eff} = conductividad efectiva del tejido corporal en siemens/m (definida como $\sigma + w \epsilon_0 \epsilon''$)

E_{rms} = valor eficaz del campo eléctrico en un determinado punto del tejido corporal en V/m

ρ = densidad del tejido corporal en kg/m³

La expresión anterior, válida en un determinado punto, es la TAE local. Para obtener la TAE de cuerpo entero debería realizarse el cálculo en diversos puntos del cuerpo y efectuar un promedio de todos ellos.

Observamos que, para un determinado valor de campo eléctrico, la TAE es directamente proporcional al valor de la conductividad. Aquellos tejidos que contengan más agua, tales como los músculos, absorberán más energía que otros (huesos o tejidos grasos).

Normativas o recomendaciones

Existen diversas recomendaciones sobre exposición a los campos electromagnéticos en distintas gamas de frecuencia, incluyendo las utilizadas por la telefonía

móvil. Las normas más aceptadas, a nivel internacional, son las elaboradas por los siguientes organismos:

El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos y el Instituto Nacional de Normativa de Estados Unidos (*Institute of Electrical and Electronics Engineers IEEE/American National Standards Institute ANSI*).

Asociación Internacional para la Protección de Radiaciones (*International Radiation Protection Association, IRPA*).

La Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No Ionizantes (*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP*), organización no gubernamental reconocida oficialmente por la Organización Mundial de la Salud (OMS), que fue creada en 1992, a partir de un grupo de trabajo de la IRPA.

Asociación Americana de Higiene Industrial (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH*).

El Consejo Nacional de Protección Radiológica y Medidas de Estados Unidos (*National Council on Radiation Protection and Mesasurements, NCRP*).

La mayoría de estas normativas existen desde hace ya bastantes años, pues no olvidemos que la utilización de las ondas electromagnéticas en las telecomunicaciones data de principios del siglo XX. Sin embargo, a medida que la tecnología y la ciencia han ido avanzando, todas las normativas y recomendaciones han debido actualizarse conforme a los resultados que han aportado las distintas investigaciones¹⁶.

El estándar americano fue desarrollado por la IEEE y sometido por la ANSI para su aprobación. En Europa, la CENELEC (*Comité Europeo de Normalización Electrotécnica*), organización de estándares europeos, desarrolló otra norma para el ámbito europeo, del que derivó la norma experimental española de AENOR (*Asociación Española para la Normalización y Certificación*) ENV-50166, que fue retirada el pasado 20 de junio de 2000, quedando por tanto sin efectos de aplicación.

Normativas Americanas

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). La norma C95.1-1991 actualiza la elaborada por la ANSI en el año 1982 (C95.1). Establece los siguientes valores:

Una TAE de 4 W/Kg no tiene ningún efecto nocivo para la salud.

Frecuencias f	Densidad de potencia S_{eq} equivalente de onda plana mW/cm ²	Campo eléctrico E V/m	Campo magnético H A/m
30 kHz - 100 kHz	-	614	163
100 kHz - 3 MHz	-	614	16,3/f
3 MHz - 30 MHz	-	1.842/f	16,3/f
30 MHz - 100 MHz	-	61,4	16,3/f
100 MHz - 300 MHz	1	61,4	0,163
300 MHz - 3 GHz	f/300	-	-
3 GHz - 15 GHz	10	-	-
15 GHz - 300 GHz	10	-	-

Tabla I. Valores límite de exposición laboral (ACGIH). f en MHz. Fuente: ACGIH.

Tipo de exposición	TAE (cuerpo entero) W/kg	TAE (cabeza y tronco) W/kg	TAE (miembros) W/kg
Laboral	0,4	10	20
Pública	0,08	2	4

Tabla II. Restricciones básicas de la Tasa de Absorción Específica para frecuencias entre 10 MHz y 10 GHz (ICNIRP). Fuente: ICNIRP.

Tipo de exposición	Campo eléctrico E (V/m)	Inducción magnética B (μT)	Campo magnético H (A/m)	Densidad de potencia S_{eq} equivalente de onda plana W/m ²
Laboral	3 f ^{1/2}	0,01 f ^{1/2}	0,008 f ^{1/2}	f/40
Pública	1,375 f ^{1/2}	0,0046 f ^{1/2}	0,0037 f ^{1/2}	f/200

Tabla III. Niveles de referencia para los campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos variables en el tiempo, en la banda 400 MHz a 2.000 MHz (ICNIRP). f en MHz. Fuente: ICNIRP.

Tipo de exposición	Campo eléctrico E (V/m)	Inducción magnética B (μT)	Campo magnético H (A/m)	Densidad de potencia S_{eq} equivalente de onda plana mW/cm ²
Laboral	90	0,30	0,24	2,25
Pública	41,25	0,14	0,11	0,45

Tabla IV. Niveles de referencia para los campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos variables en el tiempo, en la frecuencia de 900 MHz (ICNIRP). Fuente: elaboración propia.

Tipo de exposición	Campo eléctrico E (V/m)	Inducción magnética B (μT)	Campo magnético H (A/m)	Densidad de potencia S_{eq} equivalente de onda plana mW/cm ²
Laboral	127,28	0,42	0,34	4,5
Pública	58,34	0,20	0,16	0,9

Tabla V. Niveles de referencia para los campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos variables en el tiempo, en la frecuencia de 1.800 MHz (ICNIRP). Fuente: elaboración propia.

Exposición laboral: se elige un coeficiente de seguridad 10. Recomienda como valores límites de exposición una TAE media (promediada en un periodo de 6 minutos de la jornada laboral) de: 0,4 W/Kg para todo el cuerpo y de 8 W/kg para cualquier gramo de tejido (1 gramo).
Exposición pública: se elige un coeficiente de seguridad adicional de 5 (es decir 50

respecto al inicial), obteniéndose como límites de exposición los valores TAE medios (promediados en cualquier periodo de 6 minutos del día) de: 0,08 W/Kg para todo el cuerpo y de 1,6 W/Kg para cualquier gramo de tejido (1 gramo).
Relacionando estos valores con los equivalentes en densidades de potencia en las bandas de telefonía móvil, se obtiene, para

una exposición pública ¹⁷: Banda de 900 MHz: **0,6 mW/cm²** y Banda de 1.800 MHz: **1,2 mW/cm²**

ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists).

La ACGIH divide el espectro electromagnético de frecuencias entre 0 Hz y 300 GHz en dos zonas que denomina Subradiofrecuencia (1 Hz a 30 kHz) y Radiofrecuencia-microondas (30 kHz a 300 GHz).

La tabla I muestra los valores de referencia establecidos por la ACGIH, para el caso de exposición laboral y continua (> 6 minutos) en diferentes bandas de frecuencias. Representan las condiciones en las que se cree que casi todos los trabajadores pueden estar expuestos repetidamente sin efectos adversos para su salud. En ellas se indican los valores límite recomendados en función de la frecuencia (en MHz), de los valores cuadráticos medios de las intensidades de los campos eléctricos (E), magnéticos (H), y de las densidades de potencia (S) de onda plana equivalente en el espacio.

Estos valores no deben considerarse como límites definidos entre los niveles seguros y peligrosos sino como una **guía** de ayuda para la evaluación y control de la exposición a los campos electromagnéticos en estas gamas de frecuencias.

Particularizando para las frecuencias de 900 MHz y 1.800 MHz, se obtienen como valores límite, en el caso de exposición laboral, las densidades de potencia de **3 mW/cm²** y **6 mW/cm²** respectivamente.

Estos valores son superiores (menos restrictivos) a los indicados anteriormente (0,6 y 1,2 mW/cm²) ya que en aquél caso se trata de exposición pública, que siempre incluye factores de seguridad más elevados para que los resultados, por prudencia, sean más restrictivos.

Por otra parte, si tenemos en cuenta los valores recomendados por la ICNIRP, podremos concluir que, en el caso de exposición laboral, los propuestos por la ACGIH, son un poco menos exigentes.

ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection). En 1974 la IRPA creó un grupo de trabajo sobre radiaciones no ionizantes y en el Congreso de 1977, celebrado en París, pasó a denominarse INIRC (*International Non-Ionizing Radiation Committee*). Su fin era cooperar con la Organización Mundial de la Salud en la revisión y redacción de documentos acerca de efectos biológicos, evaluación de los riesgos ante la exposición a radiaciones no ionizantes, métodos e instrumentación más adecuada, etc. En 1992, en el Congreso de Montreal, se creó el ICNIRP, organización científica independiente, como suce-

Exposición	Frecuencias	TAE (cuerpo entero) W/kg	TAE (cabeza y tronco) W/kg	TAE (miembros) W/kg
Pública	10 MHz - 10 GHz	0,08	2	4

Tabla VI. Restricciones básicas de la Tasa de Absorción Específica para exposición pública (UE). Fuente: Unión Europea.

Frecuencias	Campo eléctrico E (V/m)	Campo magnético H (A/m)	Inducción magnética B (μT)	Densidad de potencia S_{eq} equivalente de onda plana W/m ²
400 MHz - 2 GHz	1,375 f ^{1/2}	0,0037 f ^{1/2}	0,0046 f ^{1/2}	f/200

Tabla VII. Niveles de referencia para exposición pública de los campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos variables en el tiempo (UE). f en MHz. Fuente: Unión Europea.

Frecuencias	Campo eléctrico E (V/m)	Campo magnético H (A/m)	Inducción magnética B (μT)	Densidad de potencia S_{eq} equivalente de onda plana W/m ²
900 MHz	41,25	0,11	0,14	4,5
1.800 MHz	58,34	0,16	0,20	9

Tabla VIII. Niveles de referencia para exposición pública de los campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos en el tiempo, en las bandas de telefonía móvil (UE). Fuente: elaboración propia.

sora de la IRPA/INIRC, con los objetivos de estudiar los riesgos que pueden asociarse a la exposición a las radiaciones no ionizantes, desarrollar una guía de valores límite e investigar acerca de los métodos de protección más adecuados. En las tablas II y III se indican los valores TAE (restricciones básicas) y parámetros radioeléctricos (niveles de referencia) para la banda utilizada en telefonía móvil y ambos tipos de exposición (pública y laboral). Puede observarse que los valores TAE relativos a la exposición pública son, de forma similar a los de la IEEE, 5 veces inferiores a los de exposición laboral¹⁸. En las tablas IV y V se han calculados los niveles de referencia de los parámetros radioeléctricos para las frecuencias particulares de la telefonía móvil, bandas 900 MHz y 1.800 MHz. Como ya se ha comentado antes, puede observarse que sus valores son un poco más restrictivos que los propuestos por la ACGIH¹⁹.

Normativas europeas

Consejo de la Unión Europea. La Recomendación 1999/519/CE del Consejo de la Unión Europea del 12 de Julio de 1999 tiene como objetivo proteger la salud de los ciudadanos, y define algunos principios generales y métodos de protección del público (exposición pública). Entre otras cosas, establece las restric-

ciones básicas y niveles de referencia, en función de las bandas de frecuencia²⁰. Por ejemplo: Entre 1 Hz y 10 MHz se proporcionan restricciones básicas de la densidad de corriente para prevenir los efectos sobre las funciones del sistema nervioso. Entre 100 kHz y 10 MHz se ofrecen restricciones de la densidad de corriente y de TAE (promediada durante un periodo cualquiera de 6 minutos). Entre 100 kHz y 10 GHz se proporcionan restricciones básicas de TAE (promediada durante un periodo cualquiera de 6 minutos) para prevenir la fatiga calorífica de cuerpo entero y un calentamiento local excesivo de los tejidos. Entre 10 GHz y 300 GHz se proporcionan restricciones básicas de la densidad de potencia, con el fin de prevenir el calentamiento de los tejidos en la superficie corporal o cerca de ella. Las restricciones básicas citadas en la tabla VI se han establecido teniendo en cuenta las variaciones que puedan introducir las sensibilidades individuales y las condiciones medioambientales, así como el hecho de que la edad y el estado de salud de los ciudadanos varían. Sus valores son idénticos a los propuestos por otras organizaciones como la ICNIRP o la IEEE. De hecho, un comité de expertos del ICNIRP comisionado por la OMS, fue quien elaboró la guía de niveles de referencia y restricciones básicas, citadas en el párrafo anterior, cuyas conclusiones

fueron adoptadas por el Consejo de la Unión Europea bajo la forma de Recomendación. Todos los países que se comprometieron con dicho documento y que firmaron su adhesión debían desarrollar, en un determinado plazo, las medidas necesarias (legales y técnicas) para cumplir con los valores citados en dicha Recomendación.

En la tabla VII se muestran los niveles de referencia que deben compararse con los valores medidos. Si se respetan todos los niveles de referencia recomendados se asegura que se cumplen las restricciones básicas.

En las frecuencias 900 MHz y 1.800 MHz, resultan las densidades de potencia de 4,5 y 9 W/m². En la tabla VIII se indican los niveles de referencia particularizados para dichas frecuencias.

Cuando se manejan valores de densidades de potencia, hay que tener precaución con las unidades. Los valores de S de la tabla VII están en W/m² y habitualmente se utilizan los submúltiplos mW/cm² ó μW/cm². Como 1 W/m² equivale a 0,1 mW/cm², los niveles de referencia para las frecuencias de 900 MHz y 1.800 MHz resultan ser diez veces inferiores, es decir: **0,45 mW/cm²** y **0,9 mW/cm²**.

Por tanto, los resultados de aquellas medidas que se efectúen en el entorno de una estación base, considerada como zona de exposición pública, no deberían ofrecer valores mayores que los indicados anteriormente, según los criterios de esta Recomendación europea²¹.

En aquellas situaciones en las que se de una exposición simultánea a campos de diferentes frecuencias, debe tenerse en cuenta la posibilidad de que se sumen los efectos de dichas exposiciones. Es conveniente, entonces, efectuar evaluaciones separadas de los efectos de estimulación térmica y eléctrica sobre el cuerpo²².

España

En España, el parque global de antenas de telefonía móvil supera la cifra de 25.000 emplazamientos. En las zonas urbanas la mayoría se sitúan en terrazas y azoteas de los edificios más altos.

El Area de Toxicología del Instituto de Salud Carlos III, emitió el pasado año un informe en el que se concluía que el público no debería tener acceso a zonas situadas a menos de 6 metros de las antenas, situación que podría incumplirse en algunas de las instalaciones existentes en las azoteas de los edificios. Siguiendo este criterio, deberían acotarse dichos espacios para que se conservara esta distancia de seguridad.

El Ministerio de Ciencia y Tecnología está

Potencia efectiva de radiación (watt)	Distancia de protección (metros)
100 a 1.000*	10
1.001 a 2.500	15
2.501 a 5.000	20
5.001 a 10.000	25
10.001 a 50.000	45

Tabla IX. Distancias de seguridad previstas según la Generalitat de Catalunya. * Las más habituales en la ciudades. Fuente: Generalitat de Catalunya.

elaborando un Real Decreto²³ que establece unos límites de exposición basados en la *Recomendación del Consejo de la Unión Europea del 12 de julio de 1999*. Por tanto, sus valores límite son los mismos que muestran las tablas II, III, IV, V (ó las VI, VII y VIII) y similares a los contenidos en las normativas que se aplican en otros países del entorno de la Unión Europea tales como Alemania, Grecia, Finlandia, Suecia, etc. Como puede observarse, son más restrictivos que los recomendados por la Asociación Americana de Higienistas (ACGIH).

Este proyecto de Real Decreto convierte en obligatorios los límites expuestos en la *Recomendación de la Unión Europea*. Está previsto que como medida de control del posible riesgo higiénico, las operadoras deban presentar anualmente certificaciones en las que conste que los emplazamientos cumplen con los valores estipulados, bajo la inspección y control del Ministerio de Ciencia y Tecnología.

Catalunya

La *Generalitat de Catalunya* en su afán de fijar criterios suficientemente prudentes, ha elaborado un decreto²⁴ que, hacien-

Frecuencias	Catalunya	España	IEEE	ICNIRP	UE	Suiza	Rusia/China
900 MHz	0,2	0,45	0,6	0,45	0,45	0,0042	0,004
1.800 MHz	0,4	0,9	1,2	0,9	0,9	-	-

Tabla X. Comparativa de los niveles de densidad de potencia S_{eq} (mW/cm²) para exposición pública según recomendaciones y normativas adoptados por diversos organismos, comunidades autónomas y países. Fuente: elaboración propia.

do uso de anteriores recomendaciones, establece unos niveles aún más restrictivos²⁵ para la exposición pública, utilizando un coeficiente de seguridad tres veces superior al habitual, es decir, 150. Así, resultan los siguientes valores límites, que son inferiores a los propuestos por la UE, la ICNIRP y la IEEE.

Banda de 900 MHz = **0,2 mW/cm²**

Banda de 1.800 MHz = **0,4 mW/cm²**

También exige, para las estaciones base, en función de dichos resultados, unas distancias mínimas de seguridad, estableciendo, unas zonas o volúmenes de protección según sean las potencias de emisión. Por ejemplo, para el caso particular de una estación base de potencia inferior a 1.000 watt, se exige un volumen de 240 m³ (10 x 6 x 4, longitud x anchura x altura) en el que no se permite la existencia de público expuesto de forma continua. Los operadores de telefonía móvil se han comprometido a cumplir estas exigencias, incluso en aquellas instalaciones actuales que se encuentren fuera de normas.

En la tabla IX se indican algunas de las distancias de seguridad previstas, entre los sistemas radiantes de las estaciones base y determinadas zonas libres habitadas, tales como terrazas, azoteas, patios o plazas.

Medidas adoptadas en otros países

Cada país, en función de las recomendaciones existentes y basándose en sus propias investigaciones, adopta o establece

sus propios criterios sin superar, en ningún caso, los límites de exposición recomendados por los distintos organismos internacionales. En determinados países, por ejemplo Rusia y algunos de la zona del Este entre otros, existen límites más restrictivos que los propuestos en Norteamérica u otros países europeos. Se basan en establecer aquellos niveles pro debajo de los cuales se cree que ningún efecto biológico de ningún tipo pueda tener lugar. Veamos algunos ejemplos de la disparidad de criterios que existen en la actualidad:

- En Australia y Nueva Zelanda, las estaciones base deben situarse a 500 metros de distancia de los colegios o de aquellos lugares frecuentados por niños.

- En Toronto (Canadá), se propone una distancia mínima de 200 metros.

- El Gobierno noruego no permite la instalación en colegios ni parvularios.

- Suiza ha adoptado, desde Febrero de 2000 un estándar para la exposición pública a las radiaciones emitidas por las torres de telefonía móvil²⁶. Son normas estrictas, similares a las existentes en Rusia y China, que establecen un valor límite, en la banda de 900 MHz de tan solo **4,2 µW/cm²**, es decir, 0,0042 mW/cm². El motivo para establecer estos límites tan restrictivos se basa en la consideración, por parte de las autoridades respectivas, de evidencias suficientes en determinados estudios que manifiestan un incremento en el riesgo de cáncer, la ruptura de los sistemas inmunológico, así como de la melatonina y del calcio. En función de dichos límites, resultan unas distancias de seguridad a las estaciones base de 650 metros²⁷.

- La *Conferencia Internacional sobre Emplazamiento de Antenas de Telefonía Móvil, Ciencias Aplicadas y Salud Pública*, celebrada en Salzburgo, recomendó un valor límite de **0,1 µW/cm²** para la exposición pública a campos electromagnéticos de microondas pulsátiles, es decir, de la telefonía móvil²⁸.

- En Italia, según el decreto nº 381 del 10 de septiembre de 1998, se ha adoptado un valor límite de **10 µW/cm²**. Para las emisiones, en las bandas de frecuencia de radiodifusión, el valor es de 6 V/m.

El pasado mes de marzo se desató una polémica al respecto debido a que el go-



Los valores límites, en la banda de los 900 MHz, son función del país. En España es de 0,45 mW/cm², en Catalunya de 0,2 mW/cm² y en Suiza de 0,0042 mW/cm².

bierno italiano amenazó con interrumpir el fluido eléctrico de la emisora Radio Vaticano si no rebajaba sus límites actuales (medidos en 18 V/m, por tanto un 200% más que el límite legal) a los establecidos por Ley²⁹. Según fuentes del Ministerio del Medio Ambiente italiano y por diversos estudios epidemiológicos, las irradiaciones electromagnéticas podrían ser la causa de varios casos de leucemia infantil.

En la tabla X, y a efectos comparativos, se resumen algunos de los niveles de referencia recomendados y/o adoptados por distintas normativas y/o países.

Bibliografía

Para la elaboración de éste y anteriores artículos, se han consultado, al margen de las notas citadas al pie, los siguientes informes:

Radiaciones RF de antenas de telefonía móvil y salud pública: el estado actual de la cuestión. "Radioprotección, nº 20, Vol VII, pp: 24-36, 1999 Ubeda Alejandro y M^a Angeles Trillo.

Campos electromagnéticos y Salud pública (OMS), nota descriptiva nº 193, mayo 1998

Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz) ICNIRP, Health Physics Society, 1998

Human Exposure to RF Emissions from Cellular Radio Base Station Antennas IEEE-USA, 15/3/1999

Human Exposure to Radiofrequency Fields from Portable and Mobile Telephones and Other Communication Devices IEEE-USA, 5/4/1999

Informe de la *Universidad Politécnica de Catalunya*, por encargo de Localret, 30/6/2000, actualizado a 29/9/2000

Informe del *Area de Toxicología del Instituto de Salud Carlos III* (Ministerio de Sanidad)

Directrices para proteger la salud humana de las radiaciones electromagnéticas emitidas en la telefonía móvil. Miguel Muntané Condeminas, Ingeniero Industrial, Director de Consulting Comunicació i Disseny SL, Octubre 2000

Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices, ACGIH, Cincinnati, 2000

Proyecto del Real Decreto sobre el Reglamento de desarrollo de la Ley 11/1998, de 24 de abril, General de Telecomunicaciones, en lo relativo a las servidumbres, a los límites de exposición y otras restricciones a las emisiones radioeléctricas (Ministerio de Ciencia y Tecnología)

Exposición humana a campos electromagnéticos. Grupo de Ingeniería de Microondas y Radiocomunicaciones.

Universidad Politécnica de Cartagena, octubre 1999.

Notas

- 1 En el aire su valor es de 377 ohm.
- 2 En campo lejano las intensidades de los campos E y H están en fase, son perpendiculares entre sí y a la dirección de propagación. La relación de sus amplitudes es constante e igual a la impedancia del medio.
- 3 En el caso particular de los teléfonos móviles se recomienda evaluar si se respeta la restricción básica localizada (TAE).
- 4 El efecto térmico, como ya se comentó en el número anterior, se debe a la disipación de energía de las corrientes eléctricas inducidas por los campos electromagnéticos variables. Según sea la exposición, local o general, se producirá una elevación de temperatura en dicha zona.
- 5 Apartado "efectos no térmicos", pp. 4-5, 1996
- 6 El País, *Futuro*, "Campos magnéticos ambientales y cáncer" 1-6-1994
- 7 Es más conocida por su nombre en inglés, SAR (Specific Absorption Rate)
- 8 En frecuencias elevadas, por encima de los 10 GHz la profundidad de penetración de los campos electromagnéticos es muy pequeña y aunque la TAE sea elevada tiene más sentido hablar de la AE (SA) que no de la TAE (SAR), tal como se hace, por ejemplo, cuando se utiliza este concepto en la banda de los infrarrojos.
- 9 Instituto Nacional de Normativa de los EE.UU.
- 10 Riu, Pere J. "Heating of Tissue by Near-Field Exposure to a Dipole: a model analysis" IEEE Transactions on biomedical engineering, Vol 46, nº 8 agosto 1999
- 11 Algunos datos interesantes son los siguientes: en reposo, el organismo humano genera un calor basal equivalente medio de 1,2 W/kg, por lo que se supone que valores inferiores no causarían efectos indeseables. Se estima que el flujo de calor hacia el exterior por la actividad metabólica normal es de 5 a 10 mW/cm² que puede incrementarse por un factor entre 2 y 10 con el ejercicio físico. La exposición al sol provoca un flujo de energía absorbida de 40 mW/cm² que el organismo debe disipar para no incrementar su temperatura. El esfuerzo límite puntual de un atleta profesional, por ejemplo en un sprint, se calcula que puede alcanzar valores cercanos a los 30 W/Kg.
- 12 Valores de TAE superiores a 4 W/kg pueden alcanzarse en torres o antenas emisoras de TV o FM, ubicaciones normalmente inaccesibles.
- 13 En la antigua Checoslovaquia, para la exposición pública se aplica un factor 900.

14 Actualmente los organismos internacionales están elaborando protocolos de medida para el TAE producido por los teléfonos móviles.

15 En realidad y dado que los materiales biológicos son anisótropos la expresión E2 equivaldría a $E_x^2 \sigma_x + E_y^2 \sigma_y + E_z^2 \sigma_z$

16 Un resumen histórico de las investigaciones sobre los efectos en la salud de los campos electromagnéticos puede consultarse en *IEEE Engineering in Medicine and Biology* por Stephan P. Albert Bren, July/August 1996, pp 24-30

17 Según datos que constan en el informe de la Universidad Politécnica de Catalunya (UPC) por encargo de Localret

18 Sin embargo, aunque adopte el mismo valor límite de TAE requiere que se promedie para 10 gramos de tejido mientras que la norma del IEEE especifica el mismo valor pero para 1 gramo.

19 Tener en cuenta las distintas unidades de la S en las tablas I y III.

20 Los citados valores, así como los niveles de referencia pueden consultarse en el D.O.C.E. de fecha 30-7-1999 L199 pp. 59 a 70.

21 Dichos valores se alcanzan, bajo determinados supuestos y en el caso peor, a distancias de 6 metros de las antenas de una estación base.

22 Una mayor información puede encontrarse en el D.O.C.E. citado anteriormente.

23 En fase de consulta pública cuando se redactó este artículo (Marzo 2001)

24 En fase de corrección cuando se redactó este artículo

25 Las Comunidades Autónomas tienen reconocida la potestad de despliegamiento legislativo y pueden dictar medidas de protección. Ello hace posible que puedan decretarse normativas más rigurosas que las estatales.

26 Microwave News, Enero/Febrero 2000.

27 Ordonnance sur la protection contre le rayonnement non ionisant. ORNI (23/12/99). Información publicada en *The Ecotimes*, Riu, Omar 18-1-2001

28 Resolución Internacional (Conference on Cell Tower Siting, Linking Science & Public Health., Salzburgo 8/6/2000)

29 Jiménez R. La Vanguardia. Sociedad, p. 41, 17-3-2001

(continuará)

**Jordi A. JAUSET
BERROCAL,**
Ingeniero Superior de
Telecomunicación
Master en Prevención de
Riesgos Laborales