

COMAR

Nota de Información Técnica

Exposición humana a la radiación de radiofrecuencia y microondas generada por teléfonos móviles y otros dispositivos de comunicación inalámbricos

Septiembre 2000

Resumen

El *Committee on Man and Radiation* (COMAR) del *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) es consciente de la preocupación entre el público por la seguridad de la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF) y microondas (MW) generados por los teléfonos móviles y otros dispositivos de comunicación inalámbricos.

Diversas organizaciones nacionales e internacionales han publicado guías para limitar la exposición humana a la energía de radiofrecuencia. Entre otras podemos citar la norma IEEE C95.1 [1], y las recomendaciones del *National Council on Radiation Protection* (NCRP) en EEUU [2], la *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP) [3], y el *National Radiation Protection Board* (NRBP) en Gran Bretaña [4]. Aunque estas guías difieren en algunos aspectos, los límites en la banda de frecuencias que usan los teléfonos móviles y dispositivos similares son bastante parecidos. El consenso en la comunidad científica,

que se refleja en estas guías, es que la exposición a energía de radiofrecuencia por debajo de los límites no conforma ningún riesgo.

En EEUU la *Federal Communications Commission* (FCC) autoriza la venta de dispositivos de comunicación inalámbricos que cumplen con su normativa [5]. La guía de la FCC, que está basada en los límites de exposición del NCRP, fue desarrollada para proteger a trabajadores y público en general porque la FCC tiene la responsabilidad legal de hacerlo, de acuerdo con la *National Environmental Policy Act* de 1969 (NEPA). Europa y otros países tienen sus propias reglamentaciones.

Se ha determinado, mediante medidas, que la mayoría de los teléfonos móviles y otros dispositivos de comunicación de baja potencia exponen a los usuarios a niveles de energía por debajo de estos límites. Algunos de estos dispositivos pueden afectar el funcionamiento de marcapasos, desfibriladores implantados u otros dispositivos médicos si se usan muy cerca de ellos (a algunos centímetros). Las personas que lleven dispositivos implantados deben seguir la indicaciones de su médico para un uso sin riesgos de los sistemas de comunicación inalámbricos.

ANTECEDENTES

El uso de teléfonos móviles se ha incrementado rápidamente a finales de los 90. Los nuevos sistemas de comunicación personal se basan en el mismo principio de un emisor/receptor móvil usado cerca de la cabeza. En estos momentos hay unos 80 millones de teléfonos móviles en los EEUU. Se estima que a nivel mundial habrá unos 500 millones en 2001 y unos 700 millones en el 2003.

Este informe pretende dar respuesta a la preocupación mostrada por parte del público con respecto a los riesgos para la salud derivados del uso de dispositivos inalámbricos, con especial énfasis en los teléfonos móviles.

Cuando se evalúan los posibles riesgos de la utilización de transmisores de radio deben tenerse en cuenta diversas consideraciones. La primera es la frecuencia de operación ya que las guías de exposición establecen límites que varían con la frecuencia. En EEUU los teléfonos móviles analógicos operan en una banda entre los 824 y los 849 MHz, mientras que los sistemas digitales PCS operan en la banda de 1850-1990 MHz. Los emisores/receptores portátiles, tipo *walkie-talkie*, lo hacen a frecuencias de 30, 150 y 450 MHz. Los teléfonos sin hilos domésticos operan típicamente a 50, 915 o 2450 MHz.

Un segundo factor a considerar es la potencia transmitida y la distancia del cuerpo a la que está el dispositivo. Los dispositivos sostenidos con la mano (teléfonos móviles, sin hilos, etc) operan

a potencias bajas pero se usan muy cerca del cuerpo. Los dispositivos montados en vehículos operan con potencias mayores, pero la distancia de la antena al cuerpo es también mayor.

La exposición de una persona a la energía de radiofrecuencia se puede medir de distintas formas. Para dispositivos usados cerca del cuerpo la magnitud más útil es la tasa de absorción específica (SAR: *Specific Absorption Rate*). La SAR es una medida de la potencia depositada en el cuerpo (ya sea en una región o promediada en todo el cuerpo) y se expresa en vatios por kilogramo de tejido (W/kg). Todas las guías de exposición citadas anteriormente están diseñadas para limitar la SAR a valores seguros.

Normas y guías de exposición de radiofrecuencia

Varias organizaciones han definido límites para la exposición humana a los campos de RF. Entre ellas el IEEE [1], el NCRP [2], la ICNIRP [3] y en Gran Bretaña el NRPB [4] (hay una lista de siglas en el anexo). Además, hay también varias regulaciones gubernamentales que están generalmente basadas en las guías y normas citadas. Estas guías definen valores ligeramente distintos entre ellas y tienen otras peculiaridades, pero a las frecuencias usadas por la mayoría de dispositivos de comunicación de RF todas son similares.

La mayoría de recomendaciones especifican dos conjuntos de límites, para exposición ocupacional y del público. En el caso particular de la norma IEEE-C95.1-1991 [1] se distingue entre entornos "controlados" (cualquier lugar donde las personas son conscientes que están sometidas a radiaciones de RF) e "incontrolados". La mayoría de guías definen límites que son cinco veces menores para entornos "incontrolados" (exposición para el público) que para entornos "controlados" (exposición ocupacional) en el margen de frecuencias hasta 3000 MHz.

Todas estas normas contemplan también diferentes situaciones de exposición. Entre ellas se distingue entre exposición de todo el cuerpo o de una región (esta es la más relevante para los dispositivos de comunicación de RF). También se especifican tiempos de promediado que varían de 6 a 30 minutos [1] (esto significa que exposiciones accidentales de duración menor que el tiempo de promediado pueden tener un valor mayor que el límite). En el caso de la IEEE-C95.1 se contempla además una exclusión para dispositivos de baja potencia, de forma que para estos dispositivos no es necesario hacer medidas para demostrar el cumplimiento con la norma (muchos dispositivos de comunicación personal, incluyendo teléfonos móviles, estarían incluidos en esta categoría). Otras recomendaciones, como la de la ICNIRP [3] o la FCC no contemplan ninguna exclusión.

Todas estas guías de exposición han sido elaboradas por comisiones formadas por científicos e ingenieros, que han revisado la literatura científica para identificar posibles peligros de la exposición a energía de RF. Las guías más importantes se han basado en la revisión exhaustiva

de varios miles de artículos científicos, que incluían estudios de ingeniería, investigaciones en animales y cultivos celulares y estudios (epidemiológicos) en humanos. Las normas fueron aprobadas sólo después de un largo proceso de revisión por diversas partes interesadas, incluyendo el público en muchos casos.

A partir de esta revisión de la literatura la mayoría de comités llegó a la conclusión que el efecto más reproducible que se producía con exposiciones bajas era la modificación del comportamiento en animales de laboratorio entrenados. Este efecto, que se ha observado en varias especies animales y bajo diferentes condiciones de exposición, se manifiesta a partir de deposiciones de potencia en todo el cuerpo (SAR de cuerpo entero) de unos 4 W/kg. Esta deposición de potencia provoca un aumento de temperatura en el animal y les estimula a dejar de realizar una tarea compleja para la que se le había entrenado. Los cambios de comportamiento que se producen son totalmente reversibles y no se consideran peligrosos para el animal. Se trabaja con la hipótesis que deposiciones de potencia de este orden de magnitud en humanos producirían efectos comparables. Esta hipótesis no se ha comprobado experimentalmente. Para valores de SAR mucho mayores se puede someter al cuerpo a un esfuerzo térmico similar al que aparece a temperaturas ambiente muy elevadas o realizando un ejercicio extenuante. A pesar de un número de hipótesis bastante elevadas, no se ha podido establecer ningún mecanismo por el cual un campo electromagnético, con niveles por debajo de los de las guías de exposición, puede producir un daño biológico con consecuencias clínicas [6].

Los datos disponibles sobre exposición de humanos a energía de RF son limitados, especialmente para exposiciones de larga duración. Ha habido algunos experimentos de exposición de humanos a niveles de radiación parecidos a los de los teléfonos móviles, pero no se ha encontrado ninguna evidencia de posibles efectos dañinos. Una revisión excelente de la literatura disponible en este campo se puede encontrar en Moulder et al. [7]

Dos estudios epidemiológicos que tratan sobre la relación entre tumores cerebrales y el uso de teléfonos móviles han sido publicados hasta la fecha. Rothman et al. [8,9] han concluido que no hay diferencia en mortalidad entre los usuarios de teléfonos móviles de mano (el aparato es sostenido con la mano, cerca de la cabeza) y usuarios de kits de vehículo (la antena está montada en el techo del vehículo). Hardell et al. [10,11] en un estudio de varios cientos de pacientes con tumores cerebrales en Suecia no encontró ninguna asociación estadísticamente significativa entre éstos y el uso de teléfonos móviles. Hay que tener presente, no obstante, que los tumores cerebrales suelen tardar años en desarrollarse, muchos más que los períodos de exposición de estos estudios.

En conclusión, no hay ninguna evidencia, ni de estudios de laboratorio ni epidemiológicos, de que la exposición a energía de RF por debajo de los límites que aparecen en las guías tenga algún efecto en la salud de los humanos.

Exposición debida los teléfonos móviles

En EEUU los teléfonos deben operar dentro de los límites que establece la FCC. Los que se comercializan en Europa deberán cumplir con regulaciones nacionales, que en muchos países son similares pero menos restrictivas que las de la FCC. El cumplimiento se verifica mediante métodos experimentales o teóricos, evaluando el SAR que producen los teléfonos en modelos de cabeza humana. Debido a los amplios márgenes de seguridad que se han incorporado a las guías, los límites de las regulaciones están muy lejos de aquellos que presumiblemente podrían significar un peligro.

Los fabricantes, en general, diseñan los teléfonos móviles para cumplir con las regulaciones, aunque al menos uno de ellos ha tenido que retirar un modelo del mercado porque la potencia emitida era ligeramente superior a la autorizada y el SAR era ligeramente superior al límite prescrito. Los teléfonos digitales (GSM, PCS) operan con potencias medias menores que los analógicos y por tanto la probabilidad de que excedan los límites es menor. Los teléfonos sin hilos analógicos que operan en la banda de 46 MHz emiten niveles de potencia mucho menores que un teléfono móvil y producen mucha menos exposición en el usuario. No obstante los nuevos teléfonos sin hilos digitales que operan a 900 MHz y 2.45 GHz radian potencias que son comparables con las de los teléfonos móviles.

Interferencias con equipos médicos

Niveles de energía de RF suficientemente altos pueden producir interferencias en otros equipos electrónicos [12]. Este problema es más probable que se produzca con energía pulsada, como en los teléfonos digitales. Algunos estudios han mostrado que los teléfonos móviles pueden alterar la operación de marcapasos o desfibriladores implantados si el teléfono se utiliza situado sobre el dispositivo [12],[13], y ha habido casos de interferencias con audífonos. Las personas con marcapasos, desfibriladores implantados, u otros dispositivos electrónicos de uso médico, deben consultar a su médico y/o al fabricante del teléfono para decidir qué precauciones, si fuese el caso, deben adoptar. Algunos fabricantes recomiendan usar el teléfono en el lado del cuerpo opuesto a aquel en el que se ha implantado el marcapasos.

Conclusiones

Los datos de medidas y cálculos indican que el SAR local producido por teléfonos sin hilos, teléfonos móviles, transmisores montados en vehículos y otros dispositivos personales de

comunicación no exceden habitualmente los límites de la FCC y otras guías. La evidencia científica disponible hasta la fecha, revisada por los comités que han redactado las guías de exposición y por otros grupos de expertos no muestra la existencia de un peligro o riesgo sanitario derivado del uso de teléfonos móviles u otros dispositivos de comunicación. Es potencialmente posible que los teléfonos usados con la mano puedan producir interferencias en dispositivos médicos implantados si se sitúan muy cerca de ellos (unos pocos centímetros)

ANEXOS

FRECUENCIAS Y PROTOCOLOS DE OPERACION DE DIVERSOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN CELULAR

Las primeras redes celulares usaban sistemas de transmisión y acceso analógicos (llamado Frequency Division Multiple Access: FDMA – Acceso múltiple por separación de frecuencia) en el que la voz modulaba una portadora continua. En EEUU estos sistemas operaban en la banda de 824-894 MHz (824-849 MHz para los teléfonos y 869-894 MHz para las estaciones base) que había estado destinada a radiodifusión de los canales 69-85 de TV en UHF.

A principios de la década de los 90 estos sistemas empezaron a llegar a los límites de capacidad de servicio en diversas áreas. Esto llevó a la introducción de nuevos tipos de servicio celular usando técnicas digitales, como el acceso múltiple por separación en el tiempo (TDMA), métodos híbridos TDMA/FDMA y más recientemente métodos de acceso múltiple por separación de códigos (CDMA). Estos sistemas operan en las mismas bandas que los sistemas analógicos pero ofrecen más canales de voz por cada canal de radiofrecuencia. En Europa el sistema celular más utilizado es el llamado GSM (Global System for Mobile Communications – Sistema Global de Comunicaciones Móviles), que es un sistema híbrido FDMA/TDMA y trabaja en la banda de 935-960 MHz.

El "Personal Communication Services" (PCS) en EEUU es la tecnología más recientemente implantada, usa la banda de 1800 – 2000 MHz y un sistema mixto TDMA y CDMA. Comparada con los sistemas analógicos, PCS opera a potencias más bajas, con celdas más pequeñas y próximas y con teléfonos que emiten menos potencia.

En EEUU la FCC autorizó inicialmente dos proveedores de servicios celulares por cada área de servicio. No obstante para promover la competencia se han creado nuevas bandas y se han introducido nuevos servicios. Entre ellos el servicio de radio móvil especializado (SMR) y el servicio SMR mejorado (ESMR), que operan en una banda justo por debajo de la telefonía móvil. Además, se permiten dos proveedores PCS en muchas regiones de los EEUU.

El aumento de las estaciones base y el progresivo paso de sistemas analógicos a digitales con mejor eficiencia ha llevado a una reducción continua de la potencia usada por las estaciones base y los teléfonos. Además, los sistemas más modernos están diseñados para reducir de forma adaptativa la potencia emitida por el teléfono y la estación base cuando ambos están cerca, lo que aún reduce más los niveles de potencia usados.

Se puede encontrar más información sobre sistemas celulares en Millington [14] y Rappaport [15].

GLOSARIO Y ACRÓNIMOS

ANSI: American National Standards Institute – Instituto Nacional de Normalización Americano

EPA: Environmental Protection Agency -- Agencia de Protección Ambiental (EEUU)

FDA: Food and Drug Administration – Administración de Alimentación y Medicamentos (EEUU)

ICNIRP: International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection – Comisión Internacional para la protección contra la radiación no ionizante

IEEE: The Institute of Electrical and Electronics Engineers – Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos

NCRP: National Council on Radiation Protection and Measurements – Consejo Nacional de Protección Radiológica y Metrología (EEUU)

NIOSH: National Institute for Occupational Safety and Health – Instituto Nacional de Salud y Seguridad Laboral (EEUU)

NRBP: National Radiation Protection Board – Comisión Nacional de Protección Radiológica (Gran Bretaña)

OSHA: Occupational Safety and Health Administration – Administración de Salud y Seguridad Laboral (EEUU)

Canal de Comunicación Analógico: Un canal de comunicación en el cual el mensaje que se transmite, por ejemplo voz, modula directamente la amplitud o frecuencia de una señal de más alta frecuencia, usualmente radiofrecuencia o microondas.

CDMA (Code Division Multiple Acces): Un sistema de codificación en que los mensajes digitalizados de diversos usuarios se transmiten por el mismo canal y al mismo tiempo. Cada mensaje es decodificado independientemente de los otros.

Sistema de Telefonía Celular: Un sistema de telefonía móvil donde las bandas de frecuencia (canales) se pueden reutilizar por medio de la división en "celdas" hexagonales de una región determinada. En cada celda hay una estación base. Un usuario dentro de una celda se comunica con la estación base de esa celda, o de una adyacente, dependiendo de la potencia de la señal recibida. Si el usuario se mueve entre celdas, la conexión con la red se mantiene pasando el control del móvil de una estación base a otra, por ejemplo a base de cambiar el canal de radiofrecuencia usado.

Canal de Comunicación Digital: Un canal de comunicación en el cual el mensaje es codificado como una serie de "unos" y "ceros" (código binario). Esto se puede realizar de varias formas pero un método habitual consiste en variar la fase de señal transmitida en pasos discretos para representar los "unos" y "ceros" respectivamente.

Antena Direccional: Una antena que radia energía de forma eficiente en una dirección determinada. Por ejemplo la energía de las antenas direccionales usadas en las estaciones base de los sistemas digitales, llamadas de "ganancia alta", de "panel" o "sectoriales", se emite en un haz relativamente estrecho en el plano vertical (unos 10 grados) y de unos 120 grados en el plano horizontal.

Enlace de bajada: la conexión para la transmisión desde una estación base hacia un teléfono móvil

ERP (Effective Radiated Power) – PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Equivalente): Una medida que indica la efectividad de un radiador para concentrar la energía emitida en una dirección. Se puede hacer una analogía entre una bombilla normal y un foco. A una distancia dada, la luz que llega de un foco es más brillante que la que llega de una bombilla normal de la misma potencia, porque el foco concentra la luz en una dirección. En contrapartida, por la parte de atrás la luz que llega del foco es mucho menor que la que llega de una bombilla normal.

FDMA (Frequency Division Multiple Access): Un método de codificar la información de distintos usuarios de forma que la información de cada usuario modula una portadora de RF de frecuencia distinta.

GSM (Global System for Mobile Communications): Un sistema híbrido TDMA/FDMA muy utilizado en Europa y que también empieza a estar disponible en EEUU

Antena de ganancia alta: Una antena con un diagrama de radiación que concentra la energía en un haz más o menos estrecho. Antena direccional.

microwatt (μW): una potencia de una millonésima parte de un watt.

Microonda (MW): una onda electromagnética con una longitud de onda entre aproximadamente 1 mm y 30 cm, que corresponde a frecuencias entre 300 GHz y 1 GHz.

miliwatt (mW): una potencia de una milésima parte de un watt.

Antena omnidireccional: una antena que radia más o menos uniformemente en un ángulo de 360° en el plano horizontal. Antena de baja ganancia. Las antenas de varilla o de látigo son omnidireccionales.

PCS (Personal Communication Service): Un término usado por los proveedores de servicios digitales en la banda de 1800-2000 MHz. El término distingue este servicio nuevo de los prestados a frecuencias más bajas.

Densidad de potencia: a veces llamado "flujo de potencia", es la medida de la potencia radiada que llega a una superficie unitaria. La unidad de medida es el watt por metro cuadrado (W/m^2). No obstante a veces se usa el miliwatt por centímetro cuadrado (mW/cm^2). $1 \text{ mW}/\text{cm}^2$ es equivalente a $10 \text{ W}/\text{m}^2$.

Radiofrecuencia (RF): ondas electromagnéticas con frecuencias comprendidas entre los 3 kHz (3000 Hz) y los 300 GHz (3×10^{11} Hz). A veces se distingue entre radiofrecuencias, entre 3 kHz y 1 GHz, y microondas, entre 1 GHz y 300 GHz.

SAR (Specific Absorption Ratio): Una medida de la velocidad a la que se absorbe la energía electromagnética por un objeto expuesto. SAR, medido en W/kg es la cantidad básica a partir de la cual se derivan la mayoría de guías de exposición modernas.

TDMA (Time Division Multiple Access): Un método de combinar los mensajes de diversos usuarios en un único canal de radio asignando a cada uno un intervalo de tiempo de transmisión distinto.

Transceptor: Término que se usa para describir un dispositivo que puede recibir y transmitir señales.

Enlace de subida: la conexión para la comunicación desde un teléfono móvil hacia la estación base.

BIBLIOGRAFIA

1. IEEE C95.1-1991: "Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz," IEEE, Piscataway, NJ, 1992
2. NCRP: Biological effects and exposure criteria for radio frequency electromagnetic fields, Report 86, (Bethesda, MD National Council on Radiation Protection and Measurements) 1-382, 1986.
3. ICNIRP: Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300GHz), Health Physics, 74(4):494-522, 1998.

4. NRPB: Board Statement on Restrictions on Human Exposure to Static and Time-Varying Electromagnetic Fields, Documents of the PRPB, Vol. 4, No. 5, National Radiological Protection Board, Chilton, Didcot, Oxon, UK, 1993.
5. U.S. Federal Communications Commission, Office of Engineering and Technology, "Evaluating Compliance with FCC-Specified Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields," OET Bulletin 65, August 1997.
6. Adair, RK, Effects of weak high-frequency electromagnetic fields on biological systems, in Radiofrequency Radiation Standards, Ed. Klauenberg, B.J., Grandolfo, M., and Erwin, D. N., Plenum Press, New York, 1995.
7. Moulder, JE, Erdreich LS, Malyapa RS, Merritt J, Pickard, WF, and Vijayalaxmi "Cell phones and cancer: what is the evidence for a connection?" Rad. Res. 151, 513-531, 1999.
8. Rothman KJ, Loughlin, JE, Funch, DP, Dreyer NA "Overall mortality of cellular telephone customers," Epidemiology 7, 303-305, 1996.
9. Dreyer NA, Loughlin JE, Rothman KJ. "Cancer-specific mortality in cellular telephone users" JAMA 282, 1814-1816, 1999.
10. Hardell L, Nasman A, Pahlson A, Hallquist A, Mild KH "Use of cellular telephones and the risk for brain tumors: A case-control study," Int. J. Of Oncol. 15, 113-116, 1999.
11. Hardell L, Nasman A, Pahlson A, Hallquist A "Case-control study on radiology work, medical X-ray investigations, and use of cellular telephones as risk factors for brain tumors" Medscape General Medicine 2, (2000).
12. COMAR Reports: Radio frequency interference with medical devices: A Technical Information Statement. IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine 17(3):111-114, 1998.
13. Hayes DL, Wang PJ, Reynolds DW, Estes III NAM, Griffith JL, Stefens RA, Carlo GL, Findlay GK, Johnson CM: "Interference with cardiac pacemakers by cellular telephones," New Eng. J. Med. 336, 1473-1479, 1997. (see also New Eng. J. Med. 336, 1518-1519, 1997; 337, 1006-1007, 1997.)
14. Rapport TS: Wireless Communications; Principles and Practices, Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, NJ, 1996
15. Millington RJ: Mobile and personal communications in the 90s, in: Mobile Communications Safety, Kuster N, Balzano Q and Lin JC, eds. Chapman & Hall, London, UK, 1997.

RECONOCIMIENTOS

Este documento fue preparado por el subcomité de RF y MW del IEEE Committee on Man and Radiation (COMAR) con contribuciones significativas de: Eleanor Adair, Quirino Balzano, Howard Bassen, G. Jerome Beers, C-K Chou, Robert Cleveland, Christopher C. Davis (presidente), Linda Erdreich, Kenneth R Foster, James Lin, John Moulder, Ronald Petersen, Peter Polson, Mays L Swicord, Richard Tell y Marvin Ziskin.

La conversión a HTML la realizó John Moulder (26-12-2000).