



Consideraciones sobre la telefonía móvil

Juan Andrés Gualda Gil. Doctor Ingeniero Industrial. (jgualda@albacete.uned.es)

INTRODUCCIÓN

La telefonía móvil está revolucionando nuestro mundo y esto no es nada comparado con lo que está por llegar. En España hay ya tanta gente con teléfono móvil como sin él y se estima que en los próximos cinco años más del 75% de los ciudadanos de la Unión Europea lo usen. Su importancia está fuera de toda duda. La telefonía móvil desempeña un papel fundamental en la actividad comercial y ha creado un número considerable de puestos de trabajo, de manera que su contribución a la economía nacional es significativa. Por otra parte ha demostrado su utilidad en situaciones de emergencia de todo tipo, habiéndose erigido el teléfono móvil en un elemento primordial de seguridad personal. ¿Y qué decir de su uso como pasatiempo que no nos resulte evidente? Y eso que todavía no ha llegado la “tercera generación” con transmisión de datos a alta velocidad, comercio electrónico, acceso a internet, etc, que podría aparecer de forma comercial en el verano del año 2002 según el calendario fijado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología.

Para muchos ciudadanos el teléfono móvil es, pues, sencillamente imprescindible pero... ¿es seguro? El grueso de la comunidad científica mundial no ha encontrado hasta la fecha evidencias de que no lo sea pero se han levantado algunas voces alertando de posibles efectos

perjudiciales. Lo sensato, en tanto no estemos más seguros de su inocuidad, es aplicar el principio de precaución, es decir, moderar su uso, emplear el dispositivo de manos libres y fijar unos límites máximos de radiación aceptados como seguros por todos los colectivos.

Una tarea muy importante que sigue estando pendiente es la información a la ciudadanía. La desinformación siempre causa alarma y la alarma puede ser la principal causante de los efectos psicológicos atribuidos a la telefonía móvil. Una información objetiva, inteligible y suficiente ayudará a tranquilizar a los ciudadanos y a enseñarles a convivir pacíficamente con los teléfonos móviles, las estaciones base y sus antenas.

En este artículo se sitúa el problema en sus justos términos describiendo de manera sucinta pero clara y suficiente el estado actual de esta tecnología. Para su elaboración ha sido necesario consultar gran cantidad de información. Se han solicitado datos técnicos a los tres operadores actuales, pero sólo Amena los ha proporcionado. Telefónica y Airtel se han negado a dar ningún dato.

DESCRIPCIÓN DE LA TELEFONÍA MÓVIL

La telefonía móvil se basa en el uso de las ondas de radio (electromagnéticas) cuyas frecuencias mayoritaria-



mente empleadas son de 900 MHz (megahercios) y 1.800 MHz. Un poco por debajo de estas frecuencias se encuentran las ondas de TV, por debajo de las cuales están las de la radio comercial FM y por debajo de éstas las de la radio AM. A frecuencias un poco superiores a las de la telefonía móvil se encuentran las empleadas en los hornos de microondas domésticos (2.450 MHz), por encima de las cuales están las ondas empleadas en los radares, por encima la radiación del Sol (del infrarrojo al ultravioleta) y por encima de ésta otros tipos de radiación como los rayos X y los rayos cósmicos.

Una característica esencial de las ondas empleadas en telefonía móvil es que no son ionizantes, es decir, no tienen la energía suficiente para arrancar electrones de los átomos ni para romper moléculas. Su energía es inferior en más de cien mil veces y su frecuencia inferior en más de diez millones de veces a la necesaria para romper las débiles uniones químicas de la molécula de ADN.

La transmisión de información entre el teléfono móvil y la antena de la estación base se realiza, pues, mediante ondas de radio. El teléfono móvil es un transceptor, es decir, actúa simultáneamente como una emisora de radio para enviar la información de su usuario y como un receptor de radio para recibir la información proveniente de la antena de la estación base, la cual está conectada a la red telefónica normal o a otra antena mediante un radio enlace.

En núcleos pequeños y medianos de población se usa una sola antena para dar total cobertura pero en los grandes núcleos urbanos se emplea una red de antenas instaladas en tejados y azoteas de manera que cada teléfono móvil intercambia información con la más cercana. Ello permite, por razones obvias, que la potencia de estas antenas sea menor, es decir, a mayor número de antenas la potencia necesaria de cada una es menor. También se obtiene una ventaja muy importante, cual es la de que la potencia emitida por los teléfonos móviles es también inferior puesto que automáticamente se ajustan al mínimo necesario, es decir, la potencia emitida por un teléfono móvil es tanto más pequeña cuanto más cerca se encuentre de una antena receptora. Un teléfono que se encuentre cerca de una estación base emite una potencia que puede llegar a ser cientos de veces inferior a su potencia máxima, la cual sólo es emitida cuando se encuentra a muy larga distancia o con muchos obstáculos físicos intermedios (edificios, vehículos...).

Las ondas electromagnéticas se propagan de manera que su intensidad disminuye con el cuadrado de la

distancia, por ejemplo a una distancia diez veces mayor del foco emisor la intensidad es cien veces menor. Para una antena omnidireccional ideal la densidad de potencia (en $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, microvatios por centímetro cuadrado) transmitida en cualquier dirección viene dada por la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad} = 100 P / (4 \pi d^2)$$

siendo P la potencia emitida (en W) y d la distancia a la antena (en m).

Prácticamente todas las antenas usadas en telefonía móvil son direccionales, es decir, emiten su máxima potencia en una dirección, estando concentrada en un haz estrecho fuera del cual la potencia emitida disminuye rápidamente. Una antena típica puede tener un haz con una abertura vertical de tan sólo 7° y una abertura horizontal de unos 90° , estando su eje orientado unos 2° por debajo de la horizontal. Al ser tan estrecha la abertura vertical, la potencia emitida verticalmente (hacia arriba o abajo) es varios cientos de veces inferior (las antenas de telefonía móvil radian horizontalmente, no verticalmente). Para estas antenas se usa la PIRE (potencia isotrópica radiada equivalente) cuyo valor se calcula multiplicando la potencia emitida por la ganancia de la antena. Para el cálculo de la máxima densidad se usa la fórmula anterior empleando la PIRE.

La fórmula anterior también puede usarse para calcular de manera aproximada la densidad de potencia generada por los teléfonos móviles.

En la Tabla 1 se da, usando esta fórmula, la densidad de potencia en función de la distancia producida por un teléfono móvil que emita 0,125 W.

Distancia en cm	3	4	5	10	20	50
Densidad en $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	1.100	620	400	100	25	4

En la Tabla 2 se da, usando la misma fórmula, la densidad de potencia en el haz de máxima emisión producida por una antena direccional con una PIRE de 500 W (la potencia típica de una estación base urbana es inferior a la de un horno de microondas doméstico).

Distancia en m	10	20	30	40	50	100
Densidad en $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	40	10	4,4	2,5	1,6	0,4



Fuera del haz de máxima emisión las densidades producidas por la antena direccional son muy inferiores a estos valores.

Tanto para el teléfono móvil como para la antena se observa un rápido decaimiento de la densidad con la distancia.

Las potencias emitidas por los teléfonos móviles son muy pequeñas comparadas con las de las antenas (en el ejemplo de las tablas anteriores la potencia del móvil es cuatro mil veces inferior a la de la antena). A pesar de ello y como la distancia al móvil es pequeñísima respecto de la distancia a las antenas, las densidades de potencia transmitidas por los teléfonos móviles a sus usuarios son muy superiores a las transmitidas por las antenas a la población en general. Por ejemplo la densidad de potencia correspondiente a un móvil de 0,125 W a 3 cm de distancia es superior en más de cien veces a la de una antena con una potencia de 500 W a 20 m y en la dirección de máxima emisión, como se desprende de las tablas anteriores.

Los valores de la densidad de potencia dados anteriormente se producen en el aire. Está documentado que cuando estas ondas penetran en el cuerpo se atenúan varias veces, lo que supone un factor de seguridad más.

La telefonía móvil ha tomado prestados dos conceptos del mundo del tabaco: se llama "usuario activo" al que hace uso del teléfono móvil y por consiguiente está expuesto a sus efectos directos, se llama "usuario pasivo" a la persona que no hace uso del teléfono móvil y sólo está expuesta a la radiación de fondo de las antenas de las estaciones base y a la de los teléfonos móviles de los usuarios activos que se encuentren cerca. De las Tablas 1 y 2 se deduce que un usuario pasivo está sometido a unos niveles de radiación cientos o miles de veces inferiores a los de un usuario activo.

NORMATIVA

Las ondas electromagnéticas penetran en los tejidos animales expuestos a ellas. En el caso de las frecuencias usadas en telefonía móvil la mayor parte de la energía es absorbida en los dos primeros centímetros bajo la piel.

Se define como índice de absorción específica la potencia absorbida por unidad de masa de tejido humano. El índice de absorción específica que se con-

sidera inocuo para la salud y está dentro de los márgenes naturales de regulación del cuerpo, consensuado por los organismos internacionales encargados de fijar las normas industriales de seguridad y salud, es de 4 W/kg, que supone una disipación de calor comparable a la de una actividad física moderada.

Los distintos países han adoptado un factor de seguridad para rebajar este valor de 4 W/kg. En Europa el Consejo de la Unión ha promulgado la "Recomendación 1999/519/CE de 12 de julio relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos (0 Hz a 300 GHz)" para, como dice en su preámbulo, lograr un alto nivel de protección de la salud de los ciudadanos. Esta Recomendación se basa en una amplia documentación científica, habiendo recopilado los mejores datos y asesoramiento científicos disponibles hasta el momento. Únicamente se han utilizado efectos comprobados como base para la limitación recomendada de las exposiciones. La Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones no Ionizantes (ICNIRP), dependiente de la OMS (Organización Mundial de la Salud), ha prestado asesoramiento a este respecto, el cual ha sido respaldado por el Comité Científico Director de la Comisión Europea.

Las restricciones básicas de la Recomendación del Consejo de Europa han sido, pues, desarrolladas a partir de un minucioso estudio de toda la bibliografía científica publicada. La Recomendación dice que no se considera comprobado que el cáncer sea uno de los efectos de la exposición a largo plazo de los campos electromagnéticos y que las restricciones básicas 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. Estas restricciones básicas son:

- Índice de absorción para el cuerpo entero 0,08 W/kg
- Índice de absorción para la cabeza y tronco 2,0 W/kg

y los niveles de referencia:

- Nivel de referencia de la densidad para 900 MHz 450 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
- Nivel de referencia de la densidad para 1.800 MHz 900 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$

Compárense por ejemplo estos niveles con la radiación del Sol sobre la superficie de la Tierra, que en un día claro es de unos 100.000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, parte de cuya





radiación es cancerígena. También de este orden de magnitud es la radiación en el interior de los hornos de microondas domésticos, una parte pequeña de la cual sale inevitablemente al exterior.

Se observa que el factor de seguridad adoptado por la Recomendación del Consejo de Europa es de 50 ($4 \text{ W/kg} / 0,08 \text{ W/kg} = 50$).

Cuando sólo una parte del cuerpo está sometida a las ondas electromagnéticas el índice de absorción puede ser varias decenas de veces superior al correspondiente al cuerpo entero.

Los niveles de referencia de la densidad de potencia no son apropiados para las situaciones en las que la exposición está muy localizada (teléfonos móviles), caso en el que debe evaluarse el índice de absorción localizada.

La propia Recomendación contempla que los Estados miembros puedan establecer un nivel de protección más elevado y así lo han hecho algunos como Alemania ($200 \mu\text{W}/\text{cm}^2$) e Italia ($100 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ en general y $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ en lugares donde las personas permanezcan durante más de 4 horas). En la Resolución de Salzburgo se dio un paso más recomendando un valor máximo de $0,1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, valor no aceptado y calificado de arbitrario por la OMS. En el Reino Unido el nivel de protección es inferior al de la Recomendación pues sus niveles de referencia son de $570 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ para 900 MHz y de $1.000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ para 1.800 MHz.

MEDICIONES DE CAMPO

La Universidad Politécnica de Cataluña ha llevado a cabo una serie de mediciones para comprobar los valores reales de la densidad de potencia junto a las estaciones base ubicadas en entornos diferentes y pertenecientes a los tres operadores actuales de telefonía móvil. Las medidas se han realizado en 24 estaciones, varias de ellas en la misma azotea del edificio donde está instalada la antena y el resto en instalaciones de tipo rural a pie de antena y buscando siempre el valor de mayor densidad de potencia emitida en el entorno. El espectro de frecuencias medido ha sido el comprendido entre 0,1 MHz y 3.000 MHz, en el cual entran además de las frecuencias de la telefonía móvil las de televisión y radio. Las medidas tomadas corresponden, pues, al caso más desfavorable posible. En ningún caso estas medidas han superado el valor de $35 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ en las estaciones base urbanas y de $3 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ en las de tipo rural.

Por su parte la Universidad Carlos III de Madrid ha efectuado mediciones junto a las antenas de 82 estaciones base de varias ciudades españolas, habiendo obtenido los siguientes resultados: $27 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ en Madrid, $16 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ en Valencia, $6,5 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ en Alicante, $4,4 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ en Valladolid, $3,3 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ en Granada y $1,5 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ en Huelva.

El equipo de trabajo del "Informe Stewart" (véase la bibliografía) ha llevado a cabo una serie de mediciones en estaciones base del Reino Unido. Se han tomado medidas de 8 estaciones instaladas en el tejado de varias escuelas y 9 en otro tipo de edificios. Las medidas se han realizado en diversos puntos dentro de las propias escuelas y edificios obteniendo valores típicos entre 0,001 y $0,1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ y en ningún caso han sido superiores a $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, es decir, más de veinte mil veces por debajo del valor considerado inocuo.

En el "Informe Moulder" (véase la bibliografía) se dan las mediciones efectuadas dentro de 5 escuelas en Vancouver (Canadá). En una de ellas la estación base está situada en su propio tejado, en otras dos en el tejado del edificio de enfrente y en las otras dos no hay antenas en las inmediaciones. Los valores máximos medidos han sido los siguientes: $2,6 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ en la escuela que tiene la estación base, $0,16 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ y $0,22 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ en las escuelas con la antena en el edificio de enfrente y $0,01 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ en las otras dos escuelas.

Estas mediciones de campo revelan que dentro de los edificios las densidades de potencia son bajísimas, cumpliéndose las exigentes legislaciones de Italia, Suiza, Rusia y China dentro incluso de los propios edificios que tienen instalada una antena o en los edificios colindantes. Hay que destacar que dentro de los edificios los niveles son muy inferiores a los registrados en la azotea debido a la fuerte atenuación producida por las paredes y los forjados.

EFFECTOS DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS USADAS EN TELEFONÍA MÓVIL

Por tratarse de una nueva tecnología de uso masivo se están dedicando ingentes esfuerzos y recursos desde hace años al estudio de los posibles riesgos que pueda llevar aparejados. En diciembre 1999 concluyó el programa de investigación WTR dotado con treinta millones de euros. Actualmente hay en marcha más de dos-



cientas investigaciones con un montante total de más de cien millones de euros. Se han examinado los informes médicos de cientos de miles de usuarios de teléfonos móviles. La OMS está llevando a cabo un ambicioso estudio, que se terminará en el año 2003, para ver si hay relación entre el uso del teléfono móvil y los cánceres de cabeza y cuello.

Los trabajos científicos se centran fundamentalmente en llevar a cabo estudios epidemiológicos y en realizar pruebas en animales de laboratorio (*in vivo*) o con preparados *in vitro*. Por un lado se pretende ver si se puede producir daño físico, sobre todo en el cerebro, y por otro lado si se puede producir modificación de las funciones cerebrales. Los efectos biológicos producidos no tienen necesariamente por qué ser dañinos.

Efecto térmico

El efecto biológico inmediato de las ondas electromagnéticas empleadas en telefonía móvil es térmico y similar al producido por las ondas de los hornos de microondas, las cuales calientan las moléculas de agua contenidas en los tejidos animales. Se ha calculado que la mayor elevación de temperatura producida en el cerebro por un teléfono móvil emitiendo una potencia de 0,25 W (índice de absorción específica de 1,6 W/kg) es de tan sólo 0,1 ° cuando el cerebro de manera natural tiene una fluctuación diaria de temperatura mucho mayor.

Cáncer de cerebro

Son muchos los estudios llevados a cabo en este campo. El último estudio epidemiológico se ha realizado con una población de 420.000 usuarios de teléfonos móviles y concluye que no hay ninguna relación directa entre su uso con un mayor riesgo de cáncer de cerebro, del sistema nervioso, de las glándulas salivales o de leucemia. Las investigaciones con ratas normales también confirman que el uso del móvil no causa ni favorece el cáncer cerebral. Una de las razones que pueden hacer que una célula se convierta en cancerosa es la rotura de su ADN y se ha visto anteriormente que la energía de las ondas empleadas en telefonía móvil es inferior en más de cien mil veces y su frecuencia inferior en más de diez millones de veces a la necesaria para romper las débiles uniones químicas de la molécula de ADN.

Sistema endocrino

Los efectos observados sobre el sistema endocrino no son ni duraderos ni acumulativos.

Producción de melatonina

Los experimentos realizados no indican que una exposición a las ondas electromagnéticas afecten a la función de la glándula pineal ni a la producción de melatonina. Prosiguen los experimentos con animales. En el caso de que en éstos se probara un efecto sobre la producción de melatonina, el resultado no sería extrapolable directamente a las personas porque en éstas la glándula pineal está mucho más profunda y alejada de la superficie que en los animales de laboratorio.

Sistema auditivo

No se ha observado hasta ahora ningún efecto sobre el sistema auditivo, ninguna de sus funciones esenciales resulta perturbada.

Sistema ocular

Los efectos observados en el sistema ocular se han producido con índices de absorción muy por encima de los máximos permitidos.

Membrana celular

Las ondas electromagnéticas de alta intensidad pueden influir sobre los canales iónicos y las proteínas de la membrana de las neuronas del cerebro, lo que puede causar sutiles cambios en la función celular pero no es seguro que puedan afectar a la salud. Estos resultados no han sido confirmados por otros investigadores.

Liberación de calcio

No hay evidencia que demuestre un incremento de la liberación de calcio en los tejidos cerebrales, los resultados son contradictorios. Aun en el supuesto de que ese efecto se produzca, su repercusión sobre la función celular no es segura ni tampoco que afecte a la salud.



Excitabilidad neuronal

Hay pruebas de que una exposición a estas ondas electromagnéticas reduce la excitabilidad neuronal pero sólo con niveles muy elevados de intensidad de las ondas. Para las bajas intensidades empleadas en telefonía móvil los efectos producidos no están tan claros.

Sistema neurotransmisor

Como en el caso anterior sólo se han observado efectos con intensidades muy elevadas. Sin embargo y teniendo en cuenta el papel esencial de los neurotransmisores en las funciones cerebrales (emociones, memoria, sueño...) este efecto sigue siendo cuidadosamente estudiado.

Aprendizaje y memoria

No existen evidencias experimentales de que estas ondas afecten a la facultad de aprendizaje ni a la memoria de los animales. La experimentación sigue sobre las personas.

Sistema hematopoyético

No se han encontrado efectos adversos en la formación de las células sanguíneas ni en la cantidad de hematocrito.

Sistema inmunitario

Los estudios realizados han dado resultados intrascendentes, siendo difícil atribuir ningún efecto a la exposición a estas ondas. En los experimentos en que se ha encontrado algún efecto, éste ha sido transitorio retornando a la normalidad al cesar la exposición.

Longevidad

No se han observado cambios significativos en la longevidad de los animales con los que se ha experimentado. Para muy altas densidades de potencia ($10.000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$) se ha observado una menor esperanza de vida en los ratones pero para bajas densidades se ha observado un aumento.

Reproducción

No se ha observado ningún riesgo para el feto o para la fertilidad masculina.

Mutagénesis

En los experimentos realizados no se ha comprobado que la exposición a ondas electromagnéticas produzca mutación ni de las células somáticas ni de las germinales.

Aberración cromosómica

Los experimentos han demostrado que no se produce un aumento de la aberración cromosómica incluso con altas intensidades de radiación.

Sistema cardiovascular

En la experimentación con animales no se ha observado ningún efecto sobre el corazón, la circulación de la sangre o la tensión arterial.

Conducción

Los estudios experimentales y epidemiológicos sobre el uso del teléfono móvil mientras se conduce concluyen que existe un mayor riesgo de accidente de circulación (se ha determinado que entre tres y seis veces). Este riesgo no es menor cuando se emplea el aparato de escucha externo (dispositivo de manos libres). Parece ser que el mayor riesgo de accidente se produce no por tener una mano ocupada o porque el teléfono móvil esté muy cerca del cerebro y pueda afectarle sino por tener la mente ocupada simultáneamente en dos tareas distintas.

Otros efectos

Hay personas que atribuyen al uso del teléfono móvil acorchamiento detrás de la oreja, dolores de cabeza, fatiga, insomnio, ansiedad o depresión.



Resumen

Aparte del riesgo asociado con el uso del móvil mientras se conduce, no hay hasta el momento ninguna evidencia de que las ondas electromagnéticas empleadas en telefonía móvil causen enfermedad. No obstante aunque los resultados de las investigaciones realizadas hasta el momento no sean causa de preocupación, tampoco puede asegurarse taxativamente que no haya ningún riesgo pues puede quedar en el aire algún efecto no previsto o que sea de aparición retardada. Este comentario podría aplicarse a cualquier tecnología. No es de esperar, pues, un pronunciamiento oficial de inocuidad porque las autoridades y organismos sanitarios son reacios a afirmar que una tecnología, sea la que fuere, es inofensiva.

EL PRINCIPIO DE PRECAUCIÓN

Hay gente que piensa que las nuevas tecnologías sólo debieran permitirse cuando estuviera suficientemente demostrado que su riesgo es cero pero este planteamiento es poco realista. La ciencia no puede dar nunca una garantía de riesgo cero. Sin embargo sí puede dar suficiente tranquilidad de que los riesgos son muy bajos en comparación con muchos otros riesgos que aceptamos como naturales en nuestra vida.

El principio de precaución consiste en llevar a cabo un acercamiento prudente a una nueva tecnología en tanto no se detallen y completen los correspondientes estudios científicos necesarios para identificar y evaluar los riesgos que su uso acarrea.

En aplicación de este principio existe un consenso generalizado para que se sigan las siguientes indicaciones:

- Cuando se adquiera un teléfono móvil se elegirá un modelo cuya potencia emitida sea la menor y que tenga ajuste automático de potencia, es decir, que disminuya su potencia al mínimo necesario para que su señal llegue con suficiencia a la estación base. Es también conveniente que el modelo elegido sea de transmisión discontinua, es decir, que sólo actúe como emisora cuando habla su usuario pero no cuando recibe.
- Es muy conveniente hacer uso del dispositivo de manos libres teniendo separado el móvil del cuerpo, con lo que se conseguirá disminuir cientos de veces la densidad de potencia. Si en algún

momento no se dispone del manos libres, el teléfono no se apretará contra la oreja y se separará al máximo la antena de la cabeza.

- El teléfono móvil no se empleará cuando pueda usarse el teléfono convencional. Cuando no se disponga de éste, el uso del móvil se reducirá al mínimo imprescindible haciendo el menor número de llamadas posible y acortando al máximo la duración de cada una.
- Se procurará no usar el teléfono móvil cuando la señal sea débil (mala calidad de recepción) pues como ya se ha visto antes la potencia emitida en esas condiciones es la máxima y por ende sus efectos. Hay que tener en cuenta que en las habitaciones interiores de los edificios la señal es mucho menor que en las que dan a la calle.
- El teléfono móvil no debe usarse mientras se conduce, ni aun con el manos libres pues está demostrado que en ambas situaciones el riesgo de accidente se ve incrementado de manera similar.
- Los niños no deben hacer uso del teléfono móvil porque los efectos en ellos son mayores al tener sus tejidos mayor proporción de agua y ser su cráneo más delgado. En un niño de cinco años los efectos son alrededor de un 60% superiores a los de un adulto.
- Es necesario delimitar físicamente alrededor de las estaciones base una zona de exclusión, en la que los valores máximos puedan ser excedidos, impidiendo el paso a su interior. En muchas de ellas no es necesario hacerlo porque la altura a que está instalada la antena hace que en la azotea o en el suelo, según el caso, no se sobrepasen esos valores máximos.
- Las estaciones base deben ser revisadas periódicamente para comprobar que las densidades de potencia fuera de las zonas de exclusión están por debajo de los límites reglamentarios.
- Debe evitarse situar las estaciones base cerca de las escuelas u hospitales. Por el modo de emisión de las ondas en la antena de la estación (que como se ha visto antes es cientos de veces inferior en dirección vertical), una estación base situada en el suelo fuera de una escuela y cerca de ella somete a alumnos y profesores a mayor exposición que si se colocara en el tejado de la propia escuela.



En lo que no hay un consenso generalizado es en la fijación de los límites máximos de densidad de potencia. Parece ser que en España a nivel estatal se van a adoptar los valores de la Recomendación del Consejo de Europa. La Administración catalana y la castellano-manchega, en cambio, prevén unos límites que son menos de la mitad de los de la Recomendación y Alemania e Italia varias veces por debajo de ésta, como se ha visto antes.

La fijación de estos niveles máximos no puede apoyarse en datos científicos definitivos por falta de ellos, puesto que la investigación continúa. Hay experimentos puntuales que alertan de tal o cual efecto aun con intensidades bajas de radiación pero esos resultados son contradictorios con los obtenidos en otros lugares. Y una de las premisas fundamentales para la aceptación universal de un experimento es su reproducibilidad. Hay que tener en cuenta también que los efectos biológicos producidos no tienen necesariamente por qué ser dañinos.

Los niveles máximos sólo pueden fijarse, pues, *ad libitum* en aplicación del principio de precaución. En los países más exigentes, como Suiza, Rusia o China, los niveles límite permitidos para exposiciones prolongadas de sus ciudadanos están alrededor de $5 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Este valor se corresponde con el ejemplo puesto en la Tabla 2 para una distancia de 30 m pero teniendo en cuenta que es dentro del haz de máxima emisión (fuera del haz la intensidad es mucho menor). Las antenas de las estaciones base están orientadas con el eje de dicho haz casi horizontal y se montan en los edificios más altos y generalmente en una torre, de manera que las azoteas y viviendas enfocadas por este haz están mucho más lejos de 30 m y además hay que tener en cuenta las atenuaciones producidas por las paredes y los forjados, que tienen valores típicos comprendidos entre 5 (pared delgada) y 50 (pared maestra o forjado). El valor máximo obtenido en las mediciones llevadas a cabo por la Universidad Politécnica de Cataluña ($35 \mu\text{W}/\text{cm}^2$) puede ser un buen referente. Recordemos que ese valor se ha medido en la misma azotea donde está instalada la antena de la estación base.

A la vista de lo anterior podría fijarse el límite máximo general en $100 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Este nivel se daría únicamente en una zona de la azotea donde está instalada la antena. En la vivienda inmediata inferior a esta azotea y en las viviendas más altas de los edificios colindantes los niveles serían varias decenas de veces inferiores y todavía más en el resto de las viviendas y en la calle. Por ello en lugares donde las personas permanezcan

más de 4 horas podría fijarse un límite máximo de $10 \text{mW}/\text{cm}^2$ y en los centros sensibles (centros infantiles y educativos, centros sanitarios y residencias de ancianos) un límite máximo de $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$.

Los tres límites anteriores ($100 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ y $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$) son congruentes entre sí y perfectamente asequibles por la tecnología actual, habiendo dejado un amplio margen para tener en cuenta el futuro desarrollo de la telefonía móvil y de las radiocomunicaciones en general.

PAPEL DE LA ADMINISTRACIÓN

En la actualidad las estaciones base se están instalando en muchos sitios sin haber obtenido la licencia municipal. La proliferación de antenas de manera aparentemente (o realmente) desordenada por parte de los distintos operadores, junto con la natural desinformación de la ciudadanía, está causando una gran alarma social. La Administración en sus distintos niveles (nacional, autonómico, provincial y municipal) debe velar por la salud pública, por disminuir el impacto paisajístico y por tranquilizar a los ciudadanos.

En los niveles superiores de la Administración se debería desarrollar una reglamentación para fijar las características técnicas de los teléfonos móviles y de las estaciones base, fijando los valores máximos de densidad de potencia admisibles. Actualmente las instalaciones de telefonía móvil tienen que ser previamente autorizadas por la Dirección General de Telecomunicación y Tecnologías de la Información. Debería obligarse a los fabricantes de teléfonos móviles a incluir un folleto diciendo que hasta la fecha no está demostrado que su uso no comporte ningún riesgo y aconsejando lo siguiente: no abusar de su uso, emplear el dispositivo de manos libres y no usar el móvil (con o sin este dispositivo) conduciendo. Se debería llevar un registro de las estaciones base donde figurara su ubicación, sus características técnicas y las fechas de las revisiones periódicas.

Por su parte los Ayuntamientos deberían ampliar sus ordenanzas municipales para regular la instalación de las estaciones base en su término municipal velando por la seguridad de sus vecinos y por la disminución del impacto visual, obligando a los operadores a acotar las zonas de exclusión en el caso de que fueran necesarias. Para la concesión de la preceptiva licencia municipal se debería exigir a los operadores que presentaran un programa de desarrollo de su sistema de telefonía



móvil en el municipio aportando la información técnica necesaria y la ubicación de sus estaciones base. Los Ayuntamientos deberían llevar un inventario de todas estas instalaciones.

La vigente legislación de telecomunicaciones recoge la posibilidad de que el establecimiento de las redes pueda ser condicionado por ciertas razones de interés público y de naturaleza no económica (la protección del medio ambiente y el cumplimiento de los objetivos urbanísticos) pero no se puede limitar de manera absoluta el derecho de ocupación con que cuentan los operadores, como ha determinado el Tribunal Supremo en su sentencia del 24 enero 2000, la cual establece además que cualquier limitación al derecho de ocupación del dominio público deberá ser proporcionada, resultado de una equilibrada ponderación entre el interés público que se trate de proteger y el derecho de ocupación con que cuenta el operador.

Al existir varios operadores de telefonía móvil el número de estaciones base y de antenas resulta multiplicado. Para aminorar el impacto visual, el número de torres podría disminuirse si fueran compartidas por los distintos operadores pero existen varios problemas, sobre todo en las instalaciones urbanas:

- La azotea donde estuvieran ubicadas varias estaciones base con todo su equipamiento anejo tendría que soportar un peso mucho mayor y en muchas ocasiones no sería técnicamente posible.
- Las radiaciones máximas serían mayores al estar concentrada su emisión en un solo punto.
- Las torres deberían ser más altas y resultarían más aparatosas, aumentando quizás el impacto visual que se pretendía disminuir.

Un papel fundamental que debe desempeñar la Administración en sus distintos niveles es el de informar al ciudadano, como aconseja la Recomendación del Consejo de Europa. La desinformación siempre causa alarma y la alarma puede ser la principal causante de los efectos psicológicos atribuidos a la telefonía móvil. Una información objetiva y suficiente basada en los principios físicos elementales que rigen la transmisión de las ondas electromagnéticas y que hable claramente, con las reservas que se quiera, de los efectos reales que producen ayudará sin duda a tranquilizar a la ciudadanía y a enseñarle a convivir pacíficamente con los teléfonos móviles, las estaciones base y sus antenas.

La Administración debe promover un equilibrio adecuado entre dos tendencias contrapuestas: por un

lado está la gran afición de los ciudadanos al uso del teléfono móvil (en España hay ya veinticinco millones de teléfonos móviles, su número sigue en constante aumento y dentro de poco nos habrá invadido la llamada "tercera generación" con servicios multimedia), sus mayores exigencias de cobertura geográfica y sus mayores exigencias de cobertura interior (dentro de las viviendas, en los garajes...); por otro lado esos mismos ciudadanos urgen a que las antenas de los operadores de telefonía móvil desaparezcan de los tejados. En los núcleos de población pequeños ambos deseos son compatibles pero en las grandes ciudades no. Y no lo es por la misma naturaleza de la telefonía móvil. Una estación base en una ciudad tiene un alcance limitado porque los edificios atenúan fuertemente las ondas y además sólo puede dar servicio a un número limitado de usuarios. En la banda de 900 MHz cada estación base puede tener un máximo de 174 canales y en la banda de 1.800 MHz de 374 canales. Empleando la técnica de acceso múltiple (hay varias técnicas de multiplexado y compresión) cada canal puede ser usado por 8 teléfonos móviles. Al crecer el número de usuarios cada estación base llega a congestionarse y no puede atender a más. La única solución es instalar más estaciones base haciendo que la superficie atendida por cada una sea menor. El casco urbano de la ciudad queda de esta manera dividido en células independientes, cada una de ellas atendida por una estación base. Ésta es la razón de que los sistemas de telefonía móvil se llamen sistemas celulares. Así, pues, el número de estaciones base (con sus correspondientes antenas) está determinado principalmente por el número de usuarios. Al ser inferior la superficie de cada célula, la potencia emitida por su antena es también menor y también la altura de la torre y su peso. Como el alcance también es menor pueden reutilizarse las mismas frecuencias en células no contiguas. Pero la ventaja más importante cuando crece el número de estaciones base es que la distancia de cada teléfono móvil a la estación más cercana se reduce considerablemente, con lo que la potencia emitida por el teléfono es muy inferior (cientos de veces) a su potencia máxima, resultando muy disminuidas igualmente las densidades de potencia en el cerebro y consiguientemente sus efectos biológicos.

CONCLUSIONES

Existe un mayor riesgo demostrado de accidente cuando se usa el teléfono móvil mientras se conduce (ya sea sin el manos libres o con él) pero hasta el



momento no hay ninguna evidencia de que la telefonía móvil sea causante de ninguna enfermedad. La mayoría de los efectos biológicos observados se producen con intensidades muy superiores a los valores máximos fijados por la Recomendación del Consejo de Europa. Sólo unos pocos efectos, que no tienen necesariamente por qué ser dañinos, se producen con intensidades próximas a esos umbrales, situación que se da con el teléfono móvil pegado a la oreja. En este punto hay que separar clara y categóricamente los teléfonos móviles de las estaciones base pues según hemos visto anteriormente las mediciones de campo efectuadas demuestran (como también se deduce de las Tablas 1 y 2) que las densidades de potencia máximas debidas a las antenas de las estaciones base son muy inferiores a las producidas por los teléfonos móviles (miles de veces). Valores tan bajos inducen a pensar que las antenas de las estaciones base deben ejercer poca influencia sobre la población en general. En el caso de que la telefonía móvil produjera algún efecto negativo sobre las personas, habría que achacarlo primordialmente a los teléfonos móviles y muy en segundo lugar a las antenas de las estaciones base.

Esta conclusión contrasta fuertemente con el comportamiento de los ciudadanos pues mientras usan alegremente el teléfono móvil (que es el que en mayor medida puede causar riesgos a la salud, si es que los produce), por otro lado piden la retirada de las antenas instaladas en azoteas y tejados (que son con diferencia los elementos menos peligrosos, si es que lo son algo). Se desprende por consiguiente la necesidad de proporcionar al ciudadano una información objetiva, inteligible y suficiente. En este campo las Administraciones públicas tienen mucho por hacer.

La Tabla 1 nos da una idea de cómo disminuye la intensidad de la radiación de un teléfono móvil al aumentar la distancia. Por ejemplo para 50 cm es casi trescientas veces inferior a la producida a 3 cm. Por lo tanto se debe aconsejar vivamente el uso del dispositivo de manos libres separando el móvil del cuerpo siempre que se haya establecido una llamada. Un móvil encendido pero sin llamada establecida está en situación de espera y no emite ondas (tan sólo muy de tarde en tarde durante un par de segundos para informar de su localización), por lo que para una persona sana no hay inconveniente en llevarlo en cualquier parte.

Lo dicho anteriormente puede visualizarse fácilmente haciendo el siguiente experimento casero, que resulta muy instructivo: tomemos un transistor de mano, encendámoslo y pongamos el volumen en su nivel míni-

mo, desde nuestro teléfono convencional doméstico llamemos a nuestro móvil y aceptemos en éste la llamada. Ahora sólo tenemos que acercar y separar la antena del teléfono móvil a la del transistor y comprobaremos que se cumple la Tabla 1, es decir, a pequeñas distancias (de pocos centímetros) el ruido generado en el transistor es grande y según nos vamos separando va disminuyendo hasta que llega a desaparecer. El ruido del transistor es producido por las ondas emitidas por el móvil. Cuando apagamos éste el ruido desaparece completamente a pesar de que las ondas emitidas por las antenas de las estaciones base están alcanzando ahora al transistor exactamente igual que cuando estaba establecida la llamada. Se comprueba así la baja densidad de potencia debida a las antenas de las estaciones base y la gran densidad de potencia producida por los teléfonos móviles, que aumenta rápidamente al disminuir la distancia. También con este método puede detectarse la radiación en el exterior de un horno de microondas doméstico, cuya frecuencia de funcionamiento está muy próxima a las empleadas en telefonía móvil, sin más que acercar el transistor a la ranura de su puerta.

En algunas ciudades las autoridades, presionadas por la alarma social, están pidiendo a los operadores que instalen las estaciones base fuera de la ciudad a una distancia prudencial. Como se ha visto antes, en ciudades grandes con gran número de usuarios, eso no es técnicamente posible porque el sistema no podría funcionar (sería algo tan absurdo como obligar a las empresas distribuidoras de electricidad y de gas a instalar sus canalizaciones, que no están exentas de riesgo, fuera de la ciudad). Dejando de lado esta faceta técnica y el derecho de los operadores a ocupar el dominio público, puede afirmarse que trasladar fuera de las grandes ciudades las antenas instaladas en los tejados es contraproducente porque, a igualdad de cobertura, no se disminuirían los niveles de radiación. Puede afirmarse también que los ciudadanos están más a resguardo de los efectos de la telefonía móvil instalando dentro de la ciudad un mayor número de antenas siendo la potencia y el alcance de cada una menores. El objetivo último, evidentemente, no debe ser trasladar fuera de la ciudad las antenas sino rebajar los niveles de radiación.

Como resumen final puede concluirse que:

- Según los numerosos estudios y experimentos realizados hasta la fecha, la exposición a las radiofrecuencias usadas en telefonía móvil con intensidades inferiores a las máximas establecidas por la Recomendación del Consejo de Europa no plantea problemas de salud para la población en general.



- No obstante y en aplicación del principio de precaución se deberían adoptar unos límites más bajos, por ejemplo $100 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ en general, $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ en lugares donde las personas permanezcan durante más de 4 horas y $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ en los centros sensibles (infantiles, educativos, sanitarios y geriátricos). Todo ello teniendo en cuenta todas las frecuencias (telefonía móvil, radios y televisiones locales, policía, ambulancias, protección civil, radiotaxis, radioaficionados...).
- Dentro de la telefonía móvil los mayores niveles de radiación son los producidos por los teléfonos móviles. Los niveles producidos por las antenas de las estaciones base son, en comparación, bajísimos aunque se producen de forma continua.
- Es muy conveniente usar el dispositivo de manos libres (cuando se conduce no se debe usar el teléfono móvil ni siquiera con él).
- Trasladar las antenas fuera de las ciudades, cuando técnicamente sea posible y sin disminuir la calidad del servicio, aumenta el nivel medio de radiación a que están sometidos los ciudadanos.

BIBLIOGRAFIA

- “Recomendación 1999/519/CE del Consejo, de 12 de julio de 1999 relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos (0 Hz a 300 GHz)”. Diario Oficial Comunidades Europeas n° L 199 de 30 de julio de 1999. www.europa.eu.int.
- “Teléfonos móviles y salud (Informe Stewart)”. www.iegmp.org.uk/IEGMPtxt.htm.
- “Antenas de telefonía móvil y salud humana (Informe Moulder)”. www.mcw.edu/gcrc/cop/telefonos-moviles-salud/toc.html
- “Campos electromagnéticos y salud pública. Los teléfonos móviles y sus estaciones base”. Proyecto EMF (Organización Mundial de la Salud). www.who.int/peh-ef.
- “Restrictions on human exposure to static and time varying electromagnetic fields and radiation”. National Radiological Protection Board. www.nrp.org.uk/.
- “Plan de comunicación de la telefonía móvil”. J Romeu y A Elías. Universidad Politécnica de Cataluña, 30 junio 2000.
- “Exposición humana a campos electromagnéticos”. A Martínez y A Díaz. Universidad Politécnica de Cartagena, octubre 1999.
- “Teléfonos móviles y salud”. Carlos M Requejo. El Ecologista, invierno 2000/2001.