



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA DE TELECOMUNICACIÓ

PLAN DE COMUNICACIÓN SOBRE LA TELEFONÍA MÓVIL

Barcelona, 30 de Junio. de 2000



Preámbulo

En los últimos años la telefonía móvil ha experimentado un crecimiento espectacular. En estos momentos el número de usuarios de telefonía móvil en España está alrededor de los 20 millones. Este rápido crecimiento, en ciertos casos desordenado, la aparición de noticias confusas que contribuyen más a la desinformación que a la formación de opiniones fundamentadas, y el desconocimiento tecnológico han causado una cierta alarma social.

El impacto visual que en ocasiones produce una estación base de telefonía móvil, así como una legítima prevención en cuanto a los posibles riesgos para la salud ha producido una creciente demanda de información por parte de los ciudadanos. Estas demandas se canalizan generalmente a través de las administraciones locales, por ser las más próximas a los ciudadanos, o bien a la Universidad en busca de opiniones independientes y fundamentadas.

Es en este contexto que Localret ha tomado la iniciativa de encargar un documento divulgativo, con la misión de proporcionar información veraz, científicamente contrastada e independiente sobre la interacción entre la radiación electromagnética y el hombre. De esta forma Localret, consorcio formado por 745 municipios catalanes, cuyo objetivo es promover el despliegue de las redes de telecomunicaciones y las nuevas tecnologías entre sus miembros, pone a disposición del público en general este documento. Para su realización se ha contado con un grupo de profesores de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Cataluña.

El documento se ha estructurado en secciones que contienen una introducción al tema y explicaciones con la fórmula pregunta-respuesta. De este modo se pretende dar una mayor utilidad al documento. Esperamos que el documento sea útil e informativo, y que el lector encuentre en él tanto las preguntas como las respuestas satisfactorias a las mismas.

Barcelona, 30 de Junio de 2000

Estructura de un sistema celular

El objetivo de un sistema de comunicaciones móviles es proporcionar la capacidad de establecer un canal de comunicación a usuarios cuya posición es desconocida, o bien que se encuentran en movimiento. De esta forma, cuando marcamos el número de teléfono de un teléfono móvil esperamos que nos respondan sin saber donde se encuentra la persona a la que se llama. Del mismo modo, el usuario que tiene establecida una llamada espera que esta se mantenga aunque se esté desplazando. Para conseguir este objetivo es necesario el despliegue de una infraestructura de telecomunicaciones, cuyos elementos visibles son las antenas de las estaciones base.

La zona geográfica en la que se presta el servicio, también conocida como zona de cobertura, es cada vez una zona más amplia. En la actualidad una gran parte del territorio tiene cobertura. Para poder proporcionar el servicio la zona de cobertura se divide en pequeñas áreas que se conocen como celdas o células. De esta subdivisión deriva el nombre de sistemas celulares que a veces se emplea para referirse a este tipo de sistemas de comunicaciones móviles.

Para poder establecer la comunicación con las consideraciones de movilidad es necesario que el usuario acceda a la red sin la existencia de un medio de transmisión físico, y que este acceso se realice mediante ondas electromagnéticas radiadas.

En cada célula se encuentra una estación base. La estación base es el elemento que permite establecer un canal de comunicación entre el usuario que tiene un teléfono móvil y la red de telecomunicaciones.

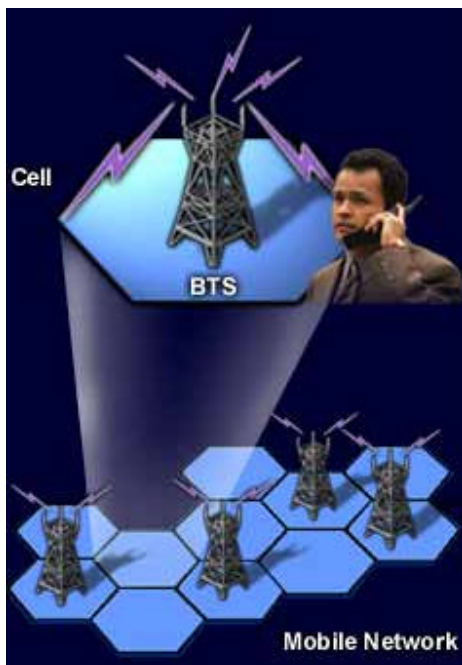


Figura 1 El territorio de cobertura se divide en células.

Por el propio funcionamiento del sistema una estación base sólo puede dar servicio a un número limitado de usuarios. Es decir, el número máximo de personas que ocupan un canal, esto es, hablar por el móvil simultáneamente en una estación base está limitado. Al crecer el número de usuarios, tal como ha sucedido en los últimos años, es más frecuente que en zonas densamente pobladas como en las ciudades, el número de personas que hablan dentro de una celda sea el número máximo que puede soportar la estación base. En este caso la célula se encuentra congestionada, y no es posible cursar llamadas a nuevos usuarios. La única solución es subdividir la célula en otras más pequeñas, cada una de ellas con su estación base (v. Figura 1). Por tanto



el número de células en que se subdivide un territorio obedece a dos factores. En una primera fase proporcionar cobertura, es decir, que en cualquier punto del territorio se pueda acceder a una estación base. En una segunda fase el factor dominante es aumentar la capacidad del sistema, es decir, evitar la congestión en las células. En resumen, el crecimiento en número de usuarios implica un crecimiento en el número de estaciones base. Este factor, junto con la incorporación de nuevos operadores ha llevado a la situación actual de proliferación en el número de estaciones base.

Existe aún otro factor que incide también directamente en el número de estaciones base que despliega un operador: el grado o tipo de cobertura ofrecida a sus clientes. Coloquialmente se dice que existe cobertura “exterior” cuando la hay en la calle, en el campo, etc.; y se dice que existe cobertura “interior” cuando la hay en los edificios. Los clientes desean cobertura en los edificios, por lo que los ingenieros deben tener en cuenta las barreras o pérdidas que introducen las paredes, techos, suelos, etc. a la propagación de las ondas electromagnéticas. Estas pérdidas redundan en la necesidad de un mayor número de estaciones base, principalmente donde más edificios hay: en las ciudades.

¿Cuántos operadores de telefonía móvil hay en España?

En estos momentos los operadores de telefonía móvil son Telefónica Móviles (Movistar y Movilink), Airtel y Amena. Xfera ha sido ganador, con los otros operadores mencionados, de un concurso para prestar servicios con el estándar UMTS, pero en la actualidad todavía ninguno de ellos ha empezado a operar.

¿Usan todos la misma frecuencia?

En la actualidad casi todos los usuarios de telefonía móvil emplean el sistema conocido como GSM. Este servicio se presta en dos bandas de frecuencias, 900 MHz y 1.800 MHz. Telefónica Móviles (Movistar) y Airtel prestan el servicio en las dos bandas, mientras que Amena sólo lo presta en la banda de 1.800 MHz. El futuro sistema de comunicaciones móviles conocido como UMTS, se prestará en una banda ligeramente distinta. La frecuencia se centra en torno a los 2.000 MHz. Todos los operadores proporcionarán servicio en UMTS.

Radiación Electromagnética y la interacción con la materia

Los fenómenos de radiación electromagnética acontecen de forma espontánea en la naturaleza. El sol es, por ejemplo, una fuente de radiación electromagnética. La luz no es más que radiación electromagnética. El empleo de la palabra radiación para referirse a la propagación de los campos electromagnéticos, sólo pone de manifiesto que los campos

electromagnéticos se propagan en forma de ondas y por tanto son radiados desde una fuente. De hecho radiación significa transmisión de energía en forma de ondas a través del espacio o a través de un medio material, y el empleo de esta palabra no tiene ninguna relación con radiactividad ni implica peligros para la salud.

Una onda electromagnética se caracteriza entre otros parámetros por su frecuencia. La frecuencia es una medida del número de veces que el campo electromagnético oscila en un segundo y la unidad de medida es el hercio. El concepto de “frecuencia de la radiación” es fundamental para establecer una clara distinción entre radiaciones ionizantes y radiaciones no-ionizantes. Una de las teorías físicas más revolucionarias aparecidas este siglo es la mecánica o física cuántica. Uno de sus postulados más sorprendentes es que la radiación electromagnética puede interpretarse como un fenómeno de propagación de ondas, pero

también como de propagación de partículas, que en este caso se denominan *fotones*. Los fotones no tienen masa pero sí una energía que depende proporcionalmente de su frecuencia. A mayor frecuencia, mayor es la energía del fotón. Las ondas electromagnéticas interactúan con la materia transfiriendo parte de su energía. La materia, que está formada por átomos y por combinaciones de éstos llamadas moléculas, puede ver alterada su estructura si la energía de los fotones asociados a una onda electromagnética es suficiente para arrancar un electrón. Un átomo o molécula al que se le ha arrancado un electrón se denomina ión. Cuando se crea un ión se dice que se ioniza la materia. Otro de los postulados de la física cuántica es que este nivel de energía está *cuantizado*, es decir, por debajo de un cierto

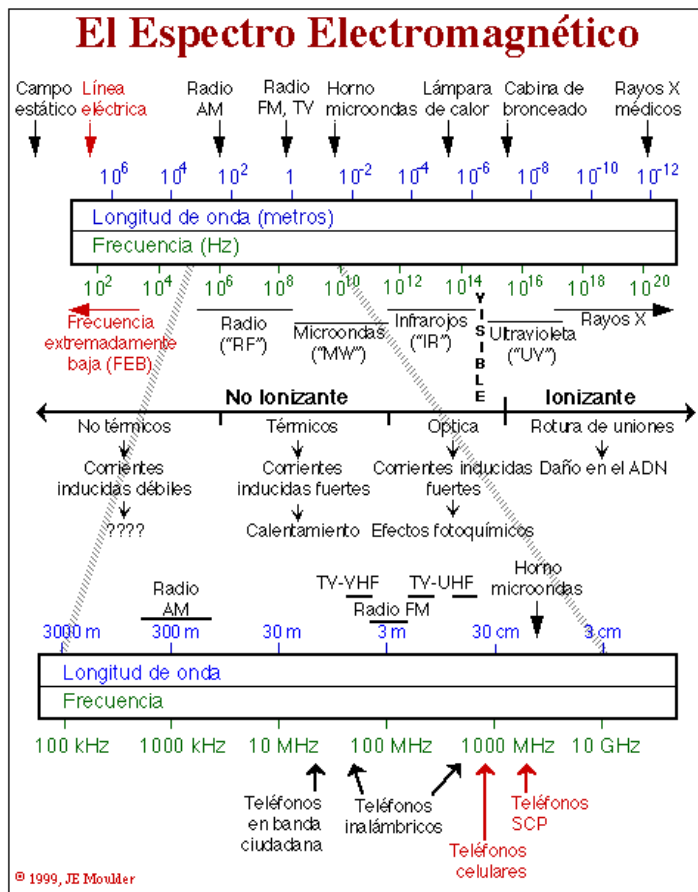


Figura 2. Distribución del espectro electromagnético. La frecuencia de las radiaciones ionizantes es unos 10 millones de veces superior a la frecuencia empleada en radiocomunicaciones.



nivel no es posible arrancar un electrón y por tanto no se modifica la estructura de la materia. Dado que la energía es proporcional a la frecuencia, esto significa que por debajo de una cierta frecuencia no es posible ionizar la materia. En este caso se dice que las radiaciones son “no-ionizantes”. Cuando la frecuencia es suficientemente alta como para que la energía asociada a los fotones pueda ionizar la materia, se dice que las radiaciones son “ionizantes”. Son radiaciones ionizantes las que se conocen como rayos ultravioletas, los rayos X, o los rayos gamma liberados por materia radiactiva. La frecuencia de estas ondas electromagnéticas es más de 10 millones de veces superior a la frecuencia de las ondas electromagnéticas empleadas en los sistemas de radiocomunicaciones, entre los que se encuentra la telefonía móvil (v. Figura 2).

Dicho de otra forma, la energía de los fotones asociados a la radiación electromagnética empleada por los sistemas de comunicaciones móviles es 10 millones de veces inferior al umbral necesario para poder ionizar un átomo y por tanto se puede afirmar rotundamente que su radiación asociada es “no-ionizante”.

Existe otra forma de interacción de las ondas electromagnéticas con la materia, que produce los denominados “efectos térmicos”. La temperatura de la materia no es más que una medida del grado de agitación o movimiento de los átomos y moléculas que la forman. A mayor temperatura, mayor es el movimiento de los átomos y moléculas. Mediante la radiación electromagnética es posible aumentar el movimiento de los átomos y moléculas y por tanto elevar la temperatura de la materia. Este es el principio básico del funcionamiento de los hornos de microondas. Los hornos de microondas funcionan generando una onda electromagnética a una frecuencia no ionizante, pero a la cual las moléculas de agua resuenan. Este fenómeno de resonancia es similar a lo que sucede cuando con leves empujones somos capaces de producir un gran movimiento en un columpio. Si coordinamos adecuadamente los instantes en que damos los empujones el columpio alcanza un gran movimiento rápidamente. En el caso del horno de microondas las moléculas de agua aumentan rápidamente su agitación por la acción del campo electromagnético externo. Este fenómeno se conoce como “efecto térmico”. El calentamiento producido depende del tipo de materia, así es conocido que ciertos materiales apenas son calentados por un horno de microondas, la potencia suministrada y el tiempo de exposición.

La ionización y los efectos térmicos o de calentamiento son las dos formas en que la radiación electromagnética actúa sobre la materia, esto es, cuando se manifiesta la transferencia de energía de la onda a la materia.

¿Qué significa radiación electromagnética?

Radiación significa la transmisión de energía mediante ondas electromagnéticas.



¿Qué es la ionización?

La materia esta formada por átomos y combinaciones de átomos llamadas moléculas. Un átomo o una molécula que pierde un electrón se denomina ión. La ionización es el proceso de formar iones.

¿Qué es una radiación ionizante?

Cuando la energía de los fotones asociados a la radiación electromagnética es suficiente para arrancar un ión de un átomo se dice que la radiación es ionizante. Son radiaciones ionizantes los rayos X o la radiación ultravioleta.

¿Las ondas de radio son ionizantes?

No, las frecuencias empleadas en los sistemas de comunicaciones móviles, en la difusión de radio y televisión y en los sistemas de radiocomunicaciones en general, no tienen la suficiente energía para ionizar la materia. De hecho su energía es unos 10 millones de veces inferior al umbral necesario para ionizar la materia y por tanto se puede descartar rotundamente cualquier efecto ionizante.

¿Y como funcionan los microondas?

Los hornos de microondas radian a una frecuencia específica que induce movimiento a las moléculas de agua de forma muy eficiente. Esto explica porque los objetos con un alto contenido de agua se calientan rápidamente en el horno de microondas, mientras que una fuente de cristal apenas se calienta.

¿Puede la radiación electromagnética calentar el cuerpo humano?

Sí, el cuerpo humano está constituido en un 70% de agua. Por tanto, no es de extrañar que sea posible calentar el cuerpo humano mediante la radiación de ondas electromagnéticas.

¿Es perjudicial para el cuerpo humano el calentamiento inducido por ondas electromagnéticas?

Depende de la temperatura alcanzada. Es conocido que por encima de los 42 °C el tejido humano se destruye. De hecho, este principio se emplea en terapias de hipertermia para el tratamiento del cáncer, en las que se destruyen tejidos cancerosos mediante la elevación selectiva de la temperatura de éstos. Por otra parte, también es conocido que la recuperación de ciertas dolencias musculares y articulares se ve favorecida por la aplicación de calor, que induce ligeros aumentos de temperatura. En este caso, el calor estimula el riego sanguíneo y favorece el proceso de recuperación. Existen también aparatos de



rehabilitación que producen este ligero aumento de temperatura mediante la aplicación de un campo electromagnético externo.

¿Existen otros efectos no térmicos en el cuerpo humano?

El cuerpo humano tiene mecanismos de termorregulación cuya misión es justamente mantener la temperatura dentro de unos márgenes. Se han observado por tanto respuestas inducidas en el cuerpo por el aumento local de la temperatura por la aplicación de ondas electromagnéticas. El efecto más conocido es un aumento local del riego sanguíneo en la zona afectada.

Existen mecanismos de funcionamiento del cuerpo humano que están basados en el electromagnetismo. La transmisión de impulsos en los tejidos nerviosos o la permeabilidad de las membranas celulares a ciertos elementos químicos son fenómenos gobernados en parte por las leyes del electromagnetismo. Es por tanto posible interferir sobre estos mecanismos mediante la aplicación externa de campos electromagnéticos. No existe ninguna evidencia científica que esto sea posible a las frecuencias y con los niveles de potencia empleados por los sistemas de comunicaciones móviles.

Normativas

Cualquier agente externo provoca reacciones en el cuerpo humano. Así, por ejemplo, la radiación proveniente del sol produce distintos efectos sobre los tejidos biológicos que forman el cuerpo humano. Una posible clasificación de estos efectos se muestra en la tabla siguiente:

Efectos biológicos de la radiación del sol	
Inocuos	Reacción orgánica de incremento del riego sanguíneo cutáneo en respuesta a un ligero calentamiento producido por el sol.
Provechosos	Sensación cálida producida por la radiación solar en un día frío.
Beneficiosos	Función solar en la producción de vitamina D por el organismo.
Perjudiciales para la salud	Quemaduras solares, incidencia en el cáncer de piel.

Por tanto, la consideración de un agente externo en una gradación desde Inocuo a Perjudicial para la salud depende en general del grado de exposición a este agente. Este grado de exposición depende a su vez del tiempo de exposición y de la intensidad del agente. Las normativas establecen niveles de seguridad que garantizan la inocuidad de un determinado agente externo. La industria alimentaria o la farmacéutica está sometida a un



conjunto de normativas para garantizar la inocuidad de los productos que producen. En otros ámbitos industriales como la fabricación de utensilios eléctricos existen normativas para garantizar la seguridad de los usuarios de dichos utensilios. La existencia de una normativa no implica necesariamente que el agente regulado sea perjudicial para la salud y por tanto deba considerarse bajo sospecha en cualquier caso. El agua distribuida en nuestras casas debe adaptarse a normativas en cuanto al contenido de elementos químicos y microorganismos. ¿Significa esto que el agua es en cualquier caso un elemento perjudicial para el organismo y que el agua que cumple la normativa es menos perjudicial? ; más bien la interpretación debe ser la contraria. Siendo el agua en general un elemento inocuo es necesario establecer normativas que indiquen en que momento es perjudicial para la salud. Además, la normativa incluye los necesarios márgenes de seguridad para garantizar la inocuidad, aún con diferentes grados de sensibilidad a los agentes externos. Las normativas de cualquier tipo establecen valores que no deben ser superados. El significado de estos valores se puede asociar, por ejemplo, a la fecha de caducidad de un yogur. Todos esperamos que antes de la fecha de caducidad, se garantice su buen estado; sin embargo, todos sabemos que consumir un yogur con la fecha ligeramente caducada no tiene incidencia en nuestra salud. Tampoco es más saludable un yogur consumido diez días antes de su fecha de caducidad, que tan solo un día antes de dicha fecha .

Algo análogo sucede con la normativa de exposición a la radiación electromagnética. Tal como se ha descrito anteriormente, la radiación electromagnética es un agente externo que interactúa con los tejidos biológicos. Las normativas fijan los niveles de exposición que no deben ser superados para que pueda considerarse esta exposición como inocua. Estos niveles se fijan introduciendo un factor de seguridad sobre los valores que se consideran inocuos. La existencia de estas normativas es antigua, ya que el empleo de las ondas electromagnéticas para fines industriales o para las telecomunicaciones data de principios de siglo. Desde hace más de treinta años existen normativas sobre los niveles máximos de exposición. Estos niveles dependen de la frecuencia, por cuanto el grado de penetración y absorción del cuerpo humano depende de ella. La determinación de los niveles máximos de exposición en los márgenes frecuenciales en los que la radiación es no ionizante se determina a partir de los efectos térmicos. El organismo humano dispone de mecanismos de termorregulación que actúan constantemente para mantener la temperatura del cuerpo dentro de unos márgenes determinados. La propia actividad metabólica del organismo exige disipar, es decir, transferir energía al exterior para que la temperatura del cuerpo no aumente. Esta transferencia de calor hacia el exterior se incrementa con el ejercicio físico, cuando la temperatura del exterior aumenta o cuando absorbemos energía del exterior, por ejemplo por medio de la radiación solar. La determinación de un factor de seguridad para los niveles máximos de exposición a la radiación electromagnética requiere de los siguientes pasos:

1. Fijar un nivel de flujo de energía adicional que el organismo puede disipar sin que su funcionamiento quede perturbado. Este nivel se define con referencia a los flujos de energía que el organismo disipa por la actividad metabólica normal, o bien por la absorción de fuentes de radiación que se conocen que son inocuas, como por ejemplo la



radiación del sol, o bien por estudios experimentales sobre organismos vivos. Como dato, 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.

2. El siguiente paso consiste en relacionar la necesidad de disipación de energía con la energía absorbida por el cuerpo. Esta energía absorbida depende de la frecuencia, la intensidad y la constitución física del cuerpo, ya que no todos los tejidos (grasa, músculo, etc.) absorben por igual. El parámetro que caracteriza la energía absorbida es la denominada "Tasa Específica de Absorción" o SAR con sus siglas en inglés. El consenso generalizado es que una Tasa Específica de Absorción inferior a 4 W/kg en el contexto de la actividad metabólica del cuerpo humano supone una disipación de calor comparable a la de una actividad física moderada, y por tanto dentro de los márgenes de actuación de los mecanismos de termorregulación del organismo.
3. Finalmente, se establece la relación entre el SAR y la densidad de potencia del campo electromagnético incidente. Dado que el cuerpo humano interacciona de forma distinta a diferentes frecuencias, el valor de esta densidad de potencia dependerá de la frecuencia.
4. Sobre este valor determinado se aplica un factor de seguridad, es decir, se reduce en un factor adicional. El valor resultante puede variar de una normativa a otra por los factores o márgenes de seguridad distintos que aplican. Las normativas internacionales aplican normalmente un factor de seguridad de 50. Es decir, el valor fijado por la normativa es 50 veces inferior al que se ha comprobado como inocuo.

Como conclusión del final del proceso, es posible definir un nivel de exposición que resulte inocuo para el organismo humano, es decir, que disipar la energía absorbida por la incidencia del campo electromagnético no implique un sobreesfuerzo para los mecanismos de regulación de temperatura del organismo.

¿Por que es necesario realizar normativas?

Para garantizar la inocuidad de un determinado agente externo. En este caso la radiación electromagnética.

¿Quién realiza las normativas?

Existen diversos organismos nacionales e internacionales que han realizado normativas al respecto. Las normativas pueden quedarse en recomendaciones cuando se realizan por organismos sin capacidad de exigir el cumplimiento, o bien pueden tener rango normativo cuando son elevadas a nivel de reglamento de obligado cumplimiento por las instancias gubernamentales competentes. Dos de los organismos que han realizado normativas, entre otras muchas cosas, sobre niveles de seguridad a la exposición de ondas electromagnéticas, son el Comité Europeo de Normalización Electrotécnica (CENELEC) en Europa y en



Estados Unidos el American National Standards Institute y el Institute of Electrical and Electronics Engineers (ANSI/IEEE). En España la Asociación Española para la Normalización y Certificación (AENOR) también ha realizado normativas al respecto.

¿Cómo se realizan las normativas?

Las normativas las realizan grupos de expertos independientes que analizan las evidencias científicas disponibles y determinan los niveles de seguridad. Para establecer estos límites en los márgenes frecuenciales correspondientes a las radiaciones no ionizantes se han considerado los efectos térmicos. De forma que el calor que debe evacuar el cuerpo humano debido a la absorción de energía electromagnética sea muy inferior a los niveles asociados a procesos metabólicos ordinarios del organismo.

¿Qué dicen las normativas respecto la radiación electromagnética a las frecuencias que se emplean en telefonía móvil?

La normativa norteamericana IEEE C95.1-1991 que es una revisión de la normativa ANSI C95.1-1982 establece que la exposición máxima en ambiente no controlado no debe superar una Tasa de Absorción Específica de 0,08 W/kg promediado sobre todo el cuerpo y no debe exceder de 1,6 W/kg promediado sobre 1 gramo de tejido. Se considera que una Tasa de Absorción Específica de 4 W/kg es inocua para la salud. Por tanto la normativa fija un nivel 50 veces inferior al que científicamente se ha comprobado que es inocuo. Estos niveles se corresponden con una densidad de potencia de 0,6 mW/cm² en la banda de 900 MHz y de 1,2 mW/cm² en la banda de 1.800 MHz.

Los límites anteriores, fijados para ambientes no controlados, es decir, aquellos en que los individuos no tienen conocimiento o grado de control sobre la exposición, son mucho más restrictivos que los que establece la normativa para ambientes controlados.

El organismo europeo CENELEC en su propuesta de normativa prES 59005:1998 recomienda que la Tasa de Absorción Específica promediada sobre el cuerpo entero para público en general en ambientes no controlados, debe ser inferior a 0,08 W/kg (igual que la normativa norteamericana). La normativa española UNE-ENV 50166-6 establece unos valores recomendados iguales que los de la normativa ANSI citada anteriormente.

La Comisión Europea a través de una Recomendación del Consejo (1999/519/CE: Recomendación de Consejo, de 12 de Julio de 1999, relativa a la exposición al público en general a campos electromagnéticos (0 Hz a 300 GHz). Diario Oficial nº L 199 de 30/07/1999 P. 0059-0070, ha realizado unas recomendaciones a los estados miembros, estableciendo también una Tasa de Absorción Específica máxima de 0,08 W/kg.

¿Qué normativas son de aplicación en Cataluña?

La Generalitat de Catalunya está preparando un decreto que, basando en las recomendaciones y normativas internacionales, fija unos niveles de referencia que no deben ser sobrepasados. Estos niveles de referencia son de 0,2 mW/cm² a la frecuencia de 900

MHz y de $0,4 \text{ mW/cm}^2$ a la frecuencia de 1.800 MHz. Estos niveles son tres veces inferiores a los fijados por la normativa norteamericana IEEE C95.1-1991, que ya incluía un factor de seguridad de 50. Por tanto, los niveles de referencia propuestos son 150 veces más pequeños que los niveles que se consideran inocuos.

Estos niveles de referencia deben cumplirse en cualquier zona en la que se encuentre expuesto el público de forma continuada. Además, el decreto prevé la existencia de unas distancias de protección adicionales. Para las antenas sectoriales de telefonía móvil, esta zona de protección consiste en un paralelepípedo de 10m de longitud, 6m de anchura y 4m de altura. En el interior de este paralelepípedo no debe haber público expuesto de forma continuada. La presencia de un obstáculo en forma de pared, suelo, etc. rompe esta zona de protección.

Mientras este decreto sigue con los trámites de aprobación, los operadores han firmado acuerdos con la Generalitat por los que se comprometen a cumplir las disposiciones incluidas en la propuesta y adaptar aquellas instalaciones que no la cumplan.

¿Existen evidencias de que la radiación electromagnética, a niveles por debajo de los establecidos por la normativa, sea perjudicial para la salud?

No existe evidencia científica de que la exposición a campos electromagnéticos con niveles inferiores a los establecidos en las normativas anteriores, tenga efectos perjudiciales para la salud. Esta es la respuesta más rotunda que desde un punto de vista científico y tecnológico se puede dar.

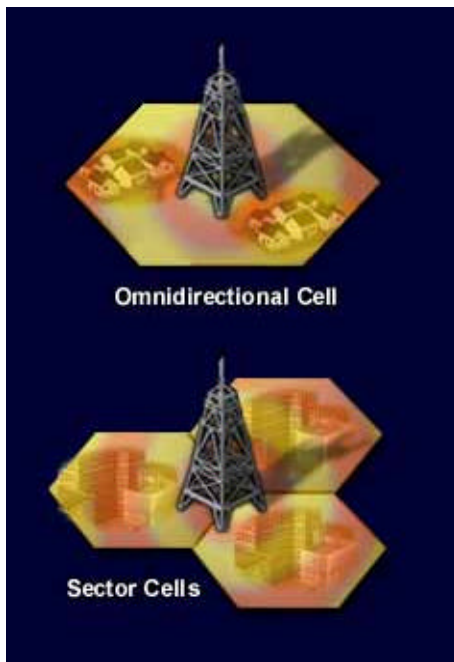


Figura 3 En zonas urbanas la configuración habitual es la de células.

Estaciones Base

La estación base es uno de los elementos que forman parte de la infraestructura necesaria para el funcionamiento de una red de comunicaciones móviles. Todos los usuarios se comunican a través de las estaciones base. Los elementos más visibles de una estación base son las torres de soporte de las antenas. Estas antenas son las que permiten establecer la comunicación con los usuarios de los teléfonos móviles que se encuentran en la zona de cobertura de esta estación base. Además de las antenas, en la estación base están los equipos transmisores y receptores, y otros elementos auxiliares necesarios para el correcto funcionamiento. Por ejemplo, para garantizar el funcionamiento aún en el caso de cortes

de fluido eléctrico, hay baterías; para garantizar el funcionamiento en épocas de calor, hay equipos de refrigeración. Todos estos elementos están dentro de una caseta para protegerlos de la intemperie. Todas las estaciones base deben instalarse conforme un proyecto realizado por un técnico competente en la materia que debe velar por el cumplimiento de todas las regulaciones relativas a seguridad en instalaciones eléctricas. Desde cada estación base debe existir un enlace que le comunique con otros elementos, centrales, controladores, etc., de la red de comunicaciones móviles. Este enlace puede utilizar bien un cable, bien utilizar de nuevo las ondas de radio: un radioenlace. En este último caso, se instala en la estación

base alguna antena adicional, que acostumbra a ser un reflector parabólico de entre 30 y 120 cm de diámetro.



Figura 4 Estación base en una azotea de una zona urbana.

¿Qué hay en una estación base?

En la estación base se encuentran las antenas y los equipos de radio que permiten establecer y mantener las comunicaciones con los usuarios de los teléfonos móviles (v. Figura 4)

¿Tienen que estar en las azoteas de los edificios?

Para poder conseguir, como se ha dicho antes, suficiente cobertura en el interior de los edificios, y suficiente capacidad para que comuniquen a la vez muchos usuarios, es necesario a su vez instalar suficientes estaciones base en una ciudad. Además, las antenas de estas estaciones deben situarse en puntos relativamente altos en relación a la media que les rodea. Por ello es habitual instalarlas en lo alto de edificios, procurando minimizar las obstrucciones cercanas. Además, entre las antenas y los equipos de radio debe haber un cable que por razones técnicas interesa que sea de la menor longitud posible. Esto aconseja que todos los equipos relacionados con la estación base se encuentren en la azotea (v. Figura 4).

¿Quién autoriza la instalación de una estación base?

La instalación de una estación base debe contar en primer lugar con la autorización del propietario o de la comunidad de propietarios del edificio o terreno en el que se pretenda instalar. En la medida que la instalación requiera la realización de obras, éstas deberán contar con la preceptiva licencia de obras municipal. Los Ayuntamientos pueden tener aprobadas ordenanzas específicas que regulen la solicitud de licencia urbanística para la instalación de una estación base en su municipio. Además, las Comunidades Autónomas



pueden aprobar reglamentos dentro de sus competencias que regulen los aspectos medioambientales de la instalación y garanticen la inocuidad de la misma. En el caso de Cataluña y conforme la Ley 3/1998, de 27 de febrero de Intervención Integral de la Administración Ambiental, las estaciones base requieren una licencia medioambiental. Próximamente se aprobará el reglamento que regulará estas instalaciones, si bien los operadores han firmado acuerdos con la Conselleria de Medi Ambient para adaptar sus instalaciones a la propuesta de reglamento sin esperar a su aprobación y entrada en vigor.

¿Radian por igual en todas las direcciones las antenas de una estación base?

No, las antenas tienen un comportamiento direccional, es decir, concentran la radiación en ciertas direcciones en detrimento de otras. La radiación se dirige hacia el frente de la antena, ligeramente inclinada, entre 2° y 6° respecto del horizonte, hacia abajo. La radiación de una antena direccional hacia su espalda es unas 200 veces inferior a la radiación en la dirección del máximo de radiación, hacia el frente. Lo mismo puede decirse de la radiación hacia el suelo (90° respecto del horizonte).

¿De qué depende la densidad de potencia radiada por una estación base?

La densidad de potencia en un punto del espacio depende de la potencia radiada, la direccionalidad de la antena y la distancia. La variación de la densidad de potencia radiada es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. Esto significa que cada vez que se dobla la distancia la densidad de potencia se reduce en un factor 4. Por otra parte, deben considerarse las características de direccionalidad de la antena. Para una misma distancia fuera de la dirección del máximo de radiación de la antena la densidad de potencia decae rápidamente.



Figura 5. Antenas de una estación base sectorial. A la izquierda una configuración que emplea tres antenas por sector y a la derecha una configuración de una antena por sector.

¿Una pared ofrece un apantallamiento a la radiación?

Ya se ha indicado que el nivel de radiación va disminuyendo, aun sin obstáculos, a razón de 4 veces cada vez que se dobla la distancia. Si además existen obstáculos en el camino de radiación, el nivel será todavía menor. La atenuación, es decir, la disminución que sufre la densidad de potencia cuando se interpone una pared depende en gran medida de como esté hecha la pared, pero es como mínimo de un factor 10 para una pared delgada. Para una pared maestra o un suelo forjado la atenuación es superior a un factor 100.

¿La densidad de potencia radiada por las estaciones base se ajusta a la normativa?

Sí, los niveles de densidad de potencia radiada por una estación base se ajustan a la normativa. Para verificar que los niveles previstos concuerdan con la realidad se ha realizado una campaña de medidas exhaustiva que ha supuesto la medición en 24 estaciones base de distinto tipo, ubicadas en entornos diferentes y pertenecientes a los tres operadores. Las medidas se han realizado en estaciones ubicadas en azoteas de edificios y en estaciones de tipo rural en las que las antenas están situadas en torres o mástiles erigidos sobre el suelo. Las medidas se han tomado buscando el valor de mayor densidad de potencia en la azotea. Las medidas realizadas han sido de **densidad de potencia total** en el margen frecuencial de 100 kHz hasta 3 GHz, y en el punto de medida ponderando por igual las contribuciones provenientes de distintas direcciones del espacio. Esto implica que en las



medidas se ha tenido en cuenta además de la contribución de la estación base que se estaba midiendo, la contribución de otras estaciones base próximas, así como la contribución de otros servicios que operan en bandas de frecuencia distintas de las de comunicaciones móviles, tales como difusión de televisión, radio, etc. Por tanto, podemos afirmar que las medidas realizadas corresponden al peor caso posible. En las medidas realizadas en las estaciones base de tipo rural en ningún caso se ha superado el valor de $0,003 \text{ mW/cm}^2$, mientras que en las medidas realizadas en las azoteas no se ha encontrado ningún valor que supere los $0,035 \text{ mW/cm}^2$. Estos valores son muy inferiores a los que establece la normativa como valores de referencia.

Ahora los niveles están muy por debajo de los máximos establecidos, ¿se puede asegurar que esto seguirá ocurriendo en el futuro?

El aumento del número de usuarios conlleva un aumento del número de estaciones base. Esto implica que la distancia entre el usuario del teléfono móvil y la estación base será menor. Debido a la menor a la menor distancia la potencia radiada por las estaciones base es en general menor. Además al reducir la potencia radiada se evitan las interferencias entre estaciones base próximas. Por tanto, el aumento en el número de estaciones base no tiene que implicar un aumento significativo en las densidades de potencia.

Una situación distinta se puede dar en el caso de compartir físicamente un emplazamiento entre varios operadores. En este caso, sí que se observaría un aumento de la densidad de potencia en las proximidades de la estación base. Una analogía la tenemos si contemplamos las farolas de una calle. Las farolas distribuidas a lo largo de la calle crean una cierta iluminación. Si agrupásemos las farolas de tres en tres, obtendríamos una iluminación mayor en las proximidades de estas agrupaciones, y una iluminación menor en aquellos sitios en los que se han eliminado farolas. Para mantener un mínimo nivel de iluminación en toda la calle deberíamos aumentar la intensidad de luz de los grupos de tres farolas, con el consiguiente aumento de la iluminación en las proximidades.

Por tanto, aquellos emplazamientos que por sus características arquitectónicas, paisajísticas, etc., requieran compartir la ubicación de las estaciones base entre distintos operadores requerirán un estudio particularizado. Especialmente si se considera un horizonte de futuro en el que puede haber más operadores que los actuales.

Conclusión

Las estaciones base de telefonía móvil son necesarias para prestar el servicio de comunicaciones móviles. La comunicación entre las estaciones base y los teléfonos móviles se realiza mediante ondas electromagnéticas. Otros servicios, tales como la difusión de televisión o radio también emplean ondas electromagnéticas.

En la realización de este estudio se han medido 24 estaciones base, y el valor máximo observado fue 850 veces inferior al valor considerado inocuo.



¿Quién ha realizado este informe?

Este informe ha sido realizado por los Drs. Jordi Romeu Robert y Antonio Elías Fusté, Doctores Ingenieros de Telecomunicación y profesores de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación de Barcelona a petición de Localret.

¿Dónde puede encontrar más información?

La mejor fuente de información es la red. La Organización Mundial de la Salud mantiene una página actualizada sobre el tema. Su dirección es www.who.int/peh-ef.



ANEXO I
VALORES DE REFERENCIA DE LAS DISTINTAS NORMATIVAS

	Factor de Seguridad	900 MHz (mW/cm²)	1800 MHz (mW/cm²)
ANSI-IEEE¹	50	0,6	0,12
Union Europea²	75	0,4	0,8
CENELEC³	75	0,4	0,8
Generalitat de Catalunya⁴	150	0,2	0,4

Valores de exposición para público en general para diferentes normativas. Los valores son densidad de potencia en mW/cm². El valor de referencia es el resultado de dividir el valor considerado inocuo por el factor de seguridad. Los valores de referencia de las distintas normativas son el resultado de considerar distintos factores de seguridad.

¹ Normativa Norteamericana IEEE C95.1-1991, Publicada por el Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 345 East 47th Street, New York, NY 10017, USA. www.ieee.org.

² 1999/519/CE: Recomendación 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 n° L199 de 30/07/1999 P. 0059-0070. www.europa.eu.int.

³ Norma Europea ENV 50166-2. Límites de exposición humana a campos electromagnéticos. (Alta frecuencia 10 KHz a 300 GHz. Rue de Statssaert 35, B-1050 Brussels

⁴ Propuesta de "Normas provisionales y urgentes para la ordenación ambiental de las instalaciones de radiocomunicaciones.



ANEXO II RESULTADO DE LAS MEDIDAS

En el gráfico adjunto se muestran los valores máximos medidos a 10 m de la base de cada una de las 24 estaciones base medidas. Los valores siempre son más de 10 veces inferiores al valor de referencia fijado por la Generalitat que es de $0,2 \text{ mW/cm}^2$.

