

RADIACIONES RF DE ANTENAS DE TELEFONÍA MÓVIL Y SALUD PÚBLICA: EL ESTADO ACTUAL DE LA CUESTIÓN.

Alejandro Úbeda Maeso y María Ángeles Trillo Ruiz

Departamento de Investigación, Hospital Ramón y Cajal, Madrid

Artículo publicado en RADIOPROTECCIÓN, No 20, Vol. VII, pp: 24-36 (1999)

RESUMEN: La telefonía móvil está considerada como una de las innovaciones más significativas de las últimas décadas en lo que a comunicación se refiere. El desarrollo creciente de este sistema de telefonía requiere de la presencia de un número suficiente de antenas, localizadas en estaciones base (BTS), que conectan los teléfonos o unidades móviles (MS) entre sí, y a estos con la red convencional de telefonía. Las estaciones base, ya sean mástiles ubicados en los tejados de edificios de zonas urbanas o se trate de torres emplazadas en promontorios de áreas más despejadas, poseen un impacto visual importante que denota con intensidad su presencia para ciudadanos que viven o trabajan en sus proximidades. Esto, unido a la reciente aparición de determinadas informaciones de contenido generalmente difuso e incompleto, está creando en algunos medios una fobia basada en supuestos efectos nocivos de las ondas electromagnéticas emitidas por las citadas estaciones base. Esta preocupación, que surgió hace algunos años en países de nuestro entorno, ha sido detectada más recientemente en España y es la base de muchas de las consultas que recibe nuestro servicio de información en el Departamento de Investigación del Hospital Ramón y Cajal. El presente artículo tiene por objeto dar respuesta a algunas de las preguntas que con más frecuencia recibimos y ofrecer una visión general sobre el estado actual de nuestros conocimientos acerca de los posibles efectos de la exposición a radioondas del tipo de las emitidas por las antenas de las BTS. El trabajo contiene también algunas nociones básicas sobre el funcionamiento de la telefonía móvil cuyo fin es facilitar al lector la comprensión de algunos aspectos técnicos relacionados con el tema que aquí se aborda.

SUMMARY. Today, mobile telephony is envisioned as one of the most significant innovations in communication. The growing development of this system asks for increasing amounts of antennas, installed in base transceiver stations (BTS) connecting mobile stations (MS, hand held phones) to each other and to the conventional telephone network. Depending on the area, antennas are generally mounted in BTS located either on the top of buildings (in urban areas) or in towers (in rural or less populated areas). In both of the cases, the visual impact of BTS is significant for people living or working close to them. This visual evidence, together with some information, usually inconsistent or incomplete, released in media other than the scientific literature, have generated increasing feelings of phobia to alleged detrimental consequences of the uncontrolled exposure to radiowaves emitted by the antennas. Such feelings, identified previously in countries where mobile telephony has been used for years in a regular basis, are now significantly growing in Spain and motivate many of the questions asked to information services of public agencies and institutions. The aim of the present article is to address some of the most frequently asked questions on the topic and to review the state of the art of our knowledge on the putative effects of the exposure to the electromagnetic radiation emitted by the aerials. Also, elementary notions are provided on the functioning of

mobile telephony that may help the reader to better understand some technical aspects concerning the topic.

-

La transmisión de información por medio de ondas electromagnéticas. La comunicación a largas distancias requiere del uso de ondas electromagnéticas (EM), en las que campos eléctricos y campos magnéticos están ligados. Mediante el empleo de la metodología adecuada, las oscilaciones electromagnéticas pueden ser controladas por oscilaciones acústicas. En efecto, cuando usamos un teléfono, las ondas sonoras generadas al hablar (**origen o fuente** de la información) son traducidas a señales eléctricas por medio de un transductor (micrófono). En esta forma, la información puede ser enviada a distancia por el **transmisor** a través de una **vía de transmisión** adecuada. Si la vía de transmisión es una línea, como ocurre en telefonía convencional, dicha línea actúa como guía de las oscilaciones electromagnéticas, que se propagarán a través de ella. En el extremo de la línea se localiza el punto de destino o **receptor**, donde la información es capturada y reconvertida a ondas acústicas mediante un transductor apropiado (altavoz), lo que permite al **destinatario** interpretar la información dirigida a él/ella ([Fig. 1](#)).

La telefonía móvil permite prescindir en parte del uso de las líneas mediante el empleo de la física de propagación de las ondas electromagnéticas. Dado que las señales EM viajan a través del aire, desde las antenas emisoras a las receptoras, a una velocidad próxima a la de la luz, la telefonía móvil capacita al usuario para enviar y recibir información sin apenas limitaciones espaciales.

Las antenas de telefonía móvil. Estas antenas tienen la misión de emitir al espacio (antenas emisoras) ondas EM en el rango de las radiofrecuencias y microondas (genéricamente, RF), o de recibir estas señales (antenas receptoras). Cuando la radiación EM se propaga en el espacio existe una transmisión de potencia que es suministrada por la antena emisora, y captada en parte por la antena receptora. La forma en que tiene lugar la emisión al espacio de la señal EM viene determinada, como se verá más adelante, por el tipo de antena empleado y por la frecuencia de la onda emitida.

Las estaciones de telefonía móvil. En un teléfono móvil, la vía de transmisión está constituida por la unidad de radio incluida en el teléfono. Es decir, el propio teléfono representa una **estación móvil** (MS), que contiene todo el equipo técnico que requiere el usuario: un sistema para transducción de voz y comunicación de información, una unidad de radio y una antena emisora-receptora. La estación móvil permite transmitir datos a la estación base. La **estación base** transreceptora (BTS) es una unidad estacionaria instalada en una posición óptima dentro del área de cobertura o célula. Incluye antenas emisoras y receptoras, una unidad de alimentación para las antenas y los sistemas necesarios para actuar de enlace entre sus estaciones móviles y a la red pública de teléfonos, a través de unidades retransmisoras o repetidoras ([Fig. 2](#)). En BTS propias de áreas rurales o poco pobladas, las antenas están montadas en mástiles o torres. En áreas urbanas, las antenas se ubican en puntos elevados; generalmente sobre tejados de edificios. La localización de las BTS es

diseñada por los operadores, o compañías que ofrecen los servicios de un determinado sistema de telefonía móvil. El objetivo es garantizar la comunicación en todos los puntos del área cubierta por cada antena.

Rangos de frecuencias. Según el sistema que emplean, las estaciones móviles (MS) trabajan en un determinado rango de frecuencias portadoras. Hasta hace poco tiempo, cada país europeo empleaba su propio sistema de telefonía, diferente del adoptado por otros países, ya que los respectivos operadores utilizaban bandas de frecuencia y tecnologías diferentes. Así, España, con Italia y el Reino Unido empleaba sistemas basados en el estándar denominado TACS; los países nórdicos empleaban el estándar NMT; Alemania, el C-Nez; Francia, el Radiocom, etc. Todos estos sistemas eran de tipo analógico. Esta variedad de estándares hacía incompatibles los equipos de los diferentes sistemas. Ante esta situación, la Confederación Europea de Correos y Telecomunicaciones optó por definir una norma técnica única, que operaría en una banda de frecuencias común y que habría de ser adoptada por todos los países miembros de la Unión Europea. Así surgió el denominado *Global System for Mobile Communications* (GSM), que emplea tecnología digital y que opera en la banda de frecuencias de los 900 MHz. Una extensión de este sistema, el *European Digital Cellular System* (DCS-1800), es muy semejante al GSM, pero opera en la banda de 1800 MHz.

Tipos de antenas de uso en estaciones base. Para adaptar la cobertura de las BTS a los requisitos específicos de cada ubicación, se utilizan dos tipos de antenas: **1. Antenas omnidireccionales**, de baja ganancia, que emiten por igual en todas las direcciones; tienen forma de varilla de unos dos metros de longitud ([Figs. 3 y 4](#)). **2. Antenas directivas**, de ganancia superior que las omnidireccionales, emiten mayoritariamente en una dirección determinada, por lo que también se les denomina antenas **sectoriales**. La anchura de estos sectores suele estar entre los 30° y los 60°, aunque algunas antenas pueden emitir en ángulos mayores. La longitud de las antenas varía, según los modelos, entre 1 y 2 metros, aproximadamente ([Figs 3 y 5](#)).

Una BTS suele contener varias antenas. El número y tipo de antenas dependen de las necesidades y capacidad de cobertura de la ubicación de la BTS. Las antenas omnidireccionales suelen emplazarse en torres, ocupando el punto más alto de la estación ([Fig. 6A](#)). Las torres pueden asimismo contener antenas directivas, que se sitúan en su fuste, dispuestas en estructuras triangulares adosadas a la torre [Figs. 6A y 6B](#). También pueden encontrarse antenas directivas ubicadas en tejados o azoteas de edificios ([Fig. 6C](#)), formando empalizadas ([Fig. 6D](#)) o adosadas a las paredes, configurando uno o más sectores.

La radiocélula y la red RF. Cada BTS da servicio a un área geográfica determinada, conocida como radiocélula. La extensión de la radiocélula está en función de las condiciones locales de radio y de la densidad y movilidad de sus usuarios. Para asegurar la cobertura en el total de la zona, las radiocélulas de las BTS adyacentes deben solaparse en sus límites

exteriores. Así, una radiocélula puede representarse como un hexágono que formaría parte de la trama de celdillas que constituyen la red RF de un determinado operador ([Fig. 7](#)).

En áreas geográficas de bajo tráfico, como es el caso de zonas rurales, puede resultar preferible el empleo de radiocélulas extensas, en cuyo centro se ubican BTS con antenas omnidireccionales. Cuando las necesidades de servicio en una zona determinada aumentan, la capacidad de la radiocélula puede incrementarse mediante la compartimentalización de la célula preexistente en otras células menores, cada una con su propia base individual, dotada de una o varias antenas omnidireccionales. Sin embargo, en general resulta más eficaz la estrategia consistente en ubicar antenas sectoriales en la base preexistente, (120° en [la Fig. 8](#))

La preocupación del público ante la exposición a radiaciones RF emitidas por antenas de las BTS. Como se ha descrito en apartados anteriores, los sistemas de telefonía móvil utilizan la transmisión de radioondas para permitir la comunicación de sus usuarios desde cualquier lugar, incluso cuando el emisor y/o el receptor se encuentran en movimiento. Para satisfacer estas condiciones, los operadores deben desplegar una tupida red de estaciones base que proporcione una cobertura con la calidad adecuada. Esta alta densidad de estaciones base y el uso generalizado de terminales portátiles ha suscitado en el público un interés por los posibles efectos de estas emisiones, tanto sobre la salud como sobre otros sistemas eléctricos con los que pudieran interactuar.

Uno de los motivos más frecuentes de preocupación por parte del público ante supuestos efectos nocivos de la exposición a radiaciones emitidas por las antenas de telefonía, proviene de la confusión derivada del uso genérico del término “radiación”. En efecto, llamamos radiaciones electromagnéticas a ondas producidas por la oscilación o aceleración de una carga eléctrica. Estas ondas están formadas por componentes eléctricos y magnéticos ligados entre sí y presentan las propiedades típicas del movimiento oscilatorio, como la difracción y la interferencia. Todas las radiaciones EM, independientemente de su frecuencia, se transmiten a la velocidad de la luz sin necesidad de un medio físico de propagación: pueden viajar en el vacío. A pesar de las citadas características comunes, existen diferencias fundamentales entre los distintos tipos de radiaciones EM según su localización en el espectro, que abarca un rango enormemente amplio de frecuencias ([Fig. 9](#)). Así, la cantidad de energía que una radiación EM es capaz de depositar en un organismo, y la forma en que esta radiación es absorbida por el sujeto están determinadas por la frecuencia de la radiación incidente. En general, cuando la frecuencia incrementa, el poder de absorción de la radiación por parte de los tejidos incrementa, y la penetración de la radiación disminuye.

Atendiendo a sus efectos sobre la materia y los sistemas vivos, podemos distinguir dos tipos fundamentales de radiaciones EM. En las radiaciones de frecuencias muy altas, como es el caso de los rayos-X, la energía de las ondas EM es tal que puede provocar ionización, es decir, ruptura de uniones químicas. A estas radiaciones se les denomina **ionizantes** (RI o IR). Cuando las uniones químicas afectadas forman parte del material genético de las células, este daño puede conducir, si no es reparado por el sistema, a cáncer o a defectos en el desarrollo. Las radiaciones de frecuencias más bajas, como las RF en que operan los

sistemas de telefonía móvil, son demasiado débiles para romper uniones químicas. Se les denomina **radiaciones no ionizantes** (RNI o NIR), y su interacción con los sistemas vivos no es comparable a la descrita para las RI.

Los bioefectos de las RNI en el espectro RF: Los efectos térmicos Aunque son incapaces de romper uniones químicas, las RNI pueden inducir alteraciones en los sistemas biológicos. En el caso de las radiofrecuencias, se ha comprobado que radiaciones particularmente intensas pueden provocar efectos nocivos que incluyen alteraciones en el comportamiento de sujetos experimentales, hipertermia leve o severa, alteraciones en el desarrollo embrionario y abortos, cataratas y quemaduras superficiales o profundas [1 - 5]. En general, los efectos nocivos comprobados bajo exposición a RF están relacionados con la capacidad que poseen estas ondas de inducir corrientes eléctricas en los tejidos expuestos, lo que conduce a una elevación de la temperatura interna del sistema. Si el incremento de la temperatura corporal inducido por la exposición a la radiación no es severo (menor de 1 °C) la sangre circulante es capaz, en general, de disipar el exceso moderado de calor [6]. Sin embargo, en determinadas estructuras poco vascularizadas, tales como el interior del ojo, el citado incremento de temperatura no es equilibrado por el sistema con facilidad y puede dar lugar a daños irreversibles.

Existe un amplio consenso entre los expertos en lo que concierne a los citados efectos térmicos de las radiofrecuencias y la microondas, por lo que los criterios de control de riesgo ante la exposición a estas radiaciones están bien establecidos en base a una evidencia experimental extensa y robusta.

Los límites de seguridad ante efectos térmicos. Son niveles límite de exposición a radiaciones que han sido establecidos por comisiones de expertos basándose en la evidencia experimental disponible. Estos límites son empleados en la elaboración de normativas de seguridad de aplicación a nivel nacional o internacional. Entre los standards más difundidos figuran los del *Institute of Electrical and Electronics Engineers and American National Standards Institute* (IEEE/ANSI) [2] y los de la *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP) [3, 4].

Los límites pueden venir expresados en dos tipos de unidades. Cuando interesa describir la potencia de la radiación en el aire, sin atender a su interacción con un cuerpo expuesto a la señal, se emplea la **densidad de potencia (S)**, que se define como potencia por unidad de superficie perpendicular a la dirección de propagación de la onda electromagnética, y que viene dada en vatios por metro cuadrado (W/m^2) o en milivatios por centímetro cuadrado (mW/cm^2). Si, por el contrario, el interés de la medida radica en valorar la forma en que la energía de una radiación es absorbida por un cuerpo dado, se calcula la **tasa de absorción específica (SAR)**. La SAR es la derivada en el tiempo del incremento de energía (dW) absorbida por una masa diferencial (dm) contenida en un volumen diferencial (dV) y que tiene una determinada densidad. Se expresa en W/kg de masa. El valor de la SAR es, por tanto, dependiente, entre otros parámetros, del valor de la densidad de corriente inducida por la radiación en el tejido (A/m^2), de la densidad del tejido (kg/m^3) y de la conductividad del tejido

(en S/m).

-

De la [Tabla 1](#) se desprende que para la frecuencia propia de las antenas de estaciones base, la normativa ICNIRP establece un **límite de exposición para el público de aproximadamente 10 W/m² (1 mW/cm²), lo que corresponde a un SAR de 0,08 W/kg de masa corporal (80 mW/kg)**. Para llegar a estas cifras, que son consideradas conservadoras, los expertos que han establecido estos standards han procedido como sigue [7]. Se evaluaron resultados de diferentes estudios experimentales realizados en animales, y a partir de ellos se determinó el valor de la tasa de absorción específica (SAR) que provoca un incremento de 1 °C en la temperatura de un tejido corporal. Este valor fue dividido por 10 para establecer los límites de seguridad ocupacional, es decir, los que se aplican a personal técnico que ejerce su labor en las proximidades de las antenas. Este último valor fue reducido de nuevo, esta vez en un factor de 5 para establecer el nivel de seguridad para exposiciones recibidas por el público en general. Dicho valor corresponde, por tanto, al 2% del nivel al cual se ha encontrado evidencia cierta de efectos biológicos de exposiciones a RF.

Las antenas y el cumplimiento de las normativas de seguridad. Las antenas de telefonía móvil que se instalan hoy en España deben cumplir las normativas vigentes sobre altura y señalización, determinadas por Aviación Civil (OACI) y las autoridades municipales y autonómicas. En algunas localidades también deben cumplirse normativas o recomendaciones específicas, dictadas por los responsables locales de las áreas de urbanismo y medio ambiente.

En lo que se refiere a emisiones RF, no existe todavía una legislación europea que obligue a las compañías al cumplimiento de límites como los establecidos por la ICNIRP. Sin embargo, como veremos en el presente apartado, las emisiones de las estaciones base que operan en España son, en general, muy inferiores a las fijadas por los niveles de seguridad aceptados internacionalmente.

En España, los valores de potencia de transmisión de las estaciones base está limitada por la ley (BOE 231, del 27/09/1994; Orden del 26/09/1994). Los máximos permitidos de potencia radiada han sido fijados en 320 W para el sistema GSM-900 y en 20 W para el DCS-1800. Los valores reales de potencia de transmisión de las estaciones base suelen ser netamente inferiores a los límites establecidos. Así, por ejemplo, para el sistema GSM-900 denominado "Movistar", las potencias se encuentran en un rango entre 30 W y 250 W, dependiendo del entorno, del objetivo de cobertura, de la densidad de estaciones base de la zona, del tipo de antena, etc. (información facilitada por Telefónica Móviles).

Los esquemas de las [Figs. 4 y 5](#) muestran que, a partir de unos pocos metros de distancia de una antena sectorial, la región del espacio afectada por las emisiones corresponde a una franja relativamente estrecha (generalmente, 30° - 60°), situada exclusivamente en la dirección en que la antena ha sido orientada. Por el contrario, el espacio sometido a las RF de las antenas omnidireccionales (de baja ganancia) es mucho más amplio, dado que una antena de este tipo constituye el centro de un "disco" de emisiones que se propagan horizontalmente en un ángulo de 360°. Pues bien, mediciones realizadas a nivel del suelo [8, 9] en las proximidades de estaciones base con distintos tipos de antenas, han mostrado

valores máximos de densidad de potencia entre 2×10^{-2} mW/cm² y 2×10^{-3} mW/cm² a distancias inferiores a 60 metros de la base. Para distancias superiores a los 90 metros, las densidades de potencia medias fueron inferiores a 10^{-3} mW/cm². Por encima del nivel del suelo, a alturas más próximas al centro del haz de emisiones de las antenas, las potencias medidas fueron, obviamente, superiores, aunque siempre muy por debajo (2% en el peor de los casos) de los standards de seguridad citados anteriormente. Por otra parte, conviene recordar que las RF son parcialmente apantalladas por las paredes de los edificios, con lo que las densidades de potencia que se registran en el interior de una vivienda son siempre mucho más bajas (en promedio, 10 veces más bajas) que las medidas en puntos exteriores [8, 10]

De lo anterior se deriva que para las estaciones base típicas montadas en torres, aun cuando soporten múltiples antenas operando simultáneamente, los niveles de exposición a radiofrecuencias que pueda recibir el público en sus inmediaciones son notablemente más bajos que los marcados en los standards. Por tanto, se asume que la permanencia y la realización de actividades en las proximidades de dichas estaciones no entrañarían riesgos para la salud del público, incluyendo a aquellas personas que sean portadoras o usuarias de instrumentos electrónicos de aplicaciones médicas, como los marcapaso cardiacos, cuyo funcionamiento no se verá afectado por las radiaciones. Esta afirmación no es necesariamente extensible a trabajadores que, para realizar labores de reparación o mantenimiento en las estaciones o junto a ellas, necesiten aproximarse mucho a las antenas. Estos operarios debe estar informados de las características concretas de las emisiones de las antenas y tomar las precauciones necesarias en cada caso.

Cuando se trata de estaciones instaladas en tejados y azoteas de edificios, las emisiones RF en distancias muy próximas a los sistemas son objeto de consideración especial a fin de garantizar la seguridad de los habitantes de las viviendas más cercanas al tejado. En general, un correcto diseño del emplazamiento de las antenas evitará el acceso directo del público a las proximidades de éstas. Además, en el interior de las viviendas inmediatas los niveles de radiación se verán reducidos significativamente debido a la baja penetrabilidad de las RF en el cemento y otros materiales con los que están contruidos los techos y paredes de los edificios. Bajo estas circunstancias, las densidades de potencia registradas en dichas viviendas cumplirán sobradamente las normativas de seguridad.

Ahora bien, en el caso hipotético de una estación mal diseñada y compuesta por múltiples antenas de alta potencia emplazadas directamente en un tejado, cabría la posibilidad de que en las viviendas más próximas pudiera registrarse la presencia de emisiones RF que incumpliesen los niveles de seguridad. Teniendo en cuenta este supuesto particular, la *Federal Communications Commission* (FCC) de los Estados Unidos de América ha establecido criterios que permiten determinar las condiciones en que el cumplimiento de los standards de seguridad en domicilios inmediatos a las instalaciones está garantizado. Así, para instalaciones en tejados, se definen como seguras aquellas bases de telefonía móvil cuya potencia radiada envolvente total por sector (suma de las potencias radiadas de todas las antenas emitiendo en un sector dado y operando simultáneamente) sea inferior o igual a 1000 W. Para antenas de sistemas de comunicación personal, que operan a una frecuencia mayor (1800-2200 MHz) la potencia considerada segura es de 2000 W o menos. En los casos de bases que operen a potencias superiores a las citadas, la FCC recomienda una evaluación específica y directa de las emisiones que confirme el cumplimiento de los límites de seguridad en las inmediaciones.

En consecuencia, y dado que en España la potencia máxima de emisión de las antenas está limitada por ley a valores inferiores a los 320 W, es muy improbable que una instalación llegue a sobrepasar los niveles de seguridad fijados por la FCC o por comisiones internacionales. No obstante, en el caso de que un propietario mantuviera dudas sobre la idoneidad de la instalación de bases situadas en los tejados de su vivienda, puede solicitar de su compañía telefónica los datos correspondientes a los niveles de emisiones, medidos o estimados, de las antenas en cuestión.

Efectos no térmicos de las RF: La controversia sobre posibles efectos perjudiciales para la salud. Existe evidencia experimental de efectos de la exposición a RF intensas que no parecen debidos a calentamiento de los tejidos [1 - 5]. Algunos de estos efectos, descritos en trabajos experimentales y en estudios epidemiológicos, han sido interpretados por determinados autores como evidencias de que exposiciones prolongadas a RF débiles son potencialmente nocivas. De entre estos autores, J. R. Goldsmith es el único, hasta donde nosotros sabemos, que ha publicado sus opiniones en la prensa científica [11, 12]. Goldsmith considera que existen datos epidemiológicos que revelan que la exposición a RF de telecomunicación tiene efectos adversos sobre la salud humana. Dichos efectos incluirían cáncer, mutaciones y alteraciones en el desarrollo embrionario. Otros autores, como Roger Coghill (citado por J. Moulder, 1998 [10]) mantienen asimismo que existen pruebas de que exposiciones a niveles de emisiones RF muy por debajo de los establecidos como seguros por la ICNIRP y otras organizaciones de expertos, pueden resultar nocivas. En la misma línea, y de autores españoles, existen en el mercado obras de divulgación [13, 14] que, a través de razonamientos paralelos, sostienen ideas como las siguientes: “La presencia de una antena emisora cerca de nuestra casa o lugar de trabajo puede ser la causa suficiente para sufrir estrés electromagnético, con peligrosos efectos psicosomáticos incluso a corto plazo” [14]. Y también: “Según el director del Instituto de Higiene de la Universidad de Heilderberg (Alemania), Andreas Varga, las emisoras de radiofrecuencias son peligrosas hasta 3 kilómetros de distancia, y afirma que la influencia de este campo sobre el organismo puede afectar al sistema inmunológico, modificar la glucosa en la sangre o la información genética, así como aumentar las hormonas del estrés. Y es que, al igual que los árboles, el cuerpo humano hace de antena de las emisiones de microondas, y es receptor, tanto de las energías cosmotelúricas, como de las radiaciones artificiales.” [13].

La interpretación que hacen los autores citados a partir la evidencia experimental ha sido fuertemente criticada, principalmente por parte de un grupo numeroso de expertos que no admiten la posibilidad de que las RF, por su forma de interaccionar físicamente con la materia orgánica, provoquen algún tipo de respuesta biológica que no sea de origen térmico.

Por nuestra parte, entendemos que opiniones como las de Goldsmith carecen de una base firme y no están respaldadas por datos concluyentes. Así, el propio Goldsmith advierte que sus ideas se basan en una selección de estudios no exenta de sesgo y en algunos datos no evaluados por expertos. Estas circunstancias limitan la validez de las conclusiones de este autor. En cuanto a Coghill, ha publicado sus hipótesis en obras autoeditadas, es decir, no sometidas a la necesaria revisión por parte de evaluadores independientes. Lo mismo ocurre

con los trabajos publicados por los autores españoles citados anteriormente. En estos últimos, además, los datos y argumentos que han dado origen a afirmaciones tan categóricas como las que hemos transcrito, son difíciles de identificar. Sus conclusiones carecen a menudo del apoyo de referencias a trabajos experimentales o epidemiológicos, o se fundamentan en citas incompletas de estudios generalmente no incluidos en la literatura científica.

Nuestra interpretación de la evidencia científica, que difiere de la mantenida por los autores que acabamos de mencionar, está contenida en los apartados siguientes.

Criterios para la valoración de la evidencia sobre efectos no térmicos de las RF. Ante todo, es necesario apuntar que la valoración de las implicaciones de los posibles efectos de las RF, no puede hacerse sin tener en cuenta el hecho de que la identificación de una respuesta biológica no implica directamente la existencia de un efecto perjudicial para la salud. Así, los sistemas biológicos responden a estímulos externos de diversa naturaleza, y lo hacen siguiendo patrones fisiológicos de respuesta que permiten al sistema relacionarse con su medio y adaptarse a este de forma equilibrada. Estas respuestas normales son ejemplos de efectos biológicos. Algunos de estos efectos pueden ser nocivos, pero en muchos casos las repercusiones que los efectos pudieran tener sobre la salud son irrelevantes o, simplemente, indeterminadas. Por consiguiente, para aquellos agentes, químicos o físicos, capaces de provocar en humanos respuestas detectables, su consideración de peligrosos o inocuos habrá de ser determinada en función de las características de la respuesta. Entre dichas características, la Organización Mundial de la Salud (WHO) incluye: la reversibilidad o irreversibilidad del efecto cuando el agente es retirado, la existencia o no de mecanismos fisiológicos capaces de compensar eficazmente el efecto, y el nivel de probabilidad de que la respuesta conduzca a efectos nocivos para el bienestar físico, mental o social del sujeto [15].

A partir de estos argumentos, es obvio que la valoración de potenciales efectos de las RF sobre la salud resulta sumamente compleja y puede ser cuestionada, sobre todo cuando dicha valoración esté basada en datos obtenidos de exposiciones *in vitro* (sobre cultivos de células). Por este motivo, nuestra revisión de la literatura ha tenido en cuenta fundamentalmente estudios epidemiológicos y trabajos experimentales *in vivo* (sobre organismos completos). Estos trabajos y sus resultados se encuentran resumidos en las Tablas 2 a 5. También hemos incluido en las tablas algunas “revisiones” o estudios que contienen una recopilación completa y crítica de resultados publicados sobre una materia determinada en la literatura científica/técnica especializada.

Respecto a estudios *in vitro*, en las tablas se cita exclusivamente aquellos que consideramos más relevantes. El lector interesado en otros datos experimentales sobre respuestas *in vitro* a nivel de membranas celulares, de proliferación y transformación celular o de interacciones en procesos de transducción de señales por medio de enzimas, puede consultar la información recogida en diversos trabajos de revisión [1, 2, 4, 15-17].

Resumen de los resultados de los estudios:

1. **Estudios epidemiológicos (Tabla 2):** Aunque están en curso diversos proyectos, en la actualidad no disponemos de datos epidemiológicos sobre posibles efectos de la exposición a RF emitidas por antenas de estaciones base de telefonía. Es por ello que los trabajos referidos en la [Tabla 2](#) corresponden a estudios realizados sobre muestras de personas potencialmente expuestas a emisiones de otras fuentes de RF, como son antenas de televisión o de radar. Algunos de estos trabajos, que han sido criticados debido a posibles deficiencias metodológicas [1, 49, 50], encontraron incidencias elevadas de determinados tipos de cánceres en algunas áreas próximas a las torres emisoras. Sin embargo, estudios posteriores más amplios no reprodujeron los resultados iniciales. En consecuencia, la evidencia epidemiológica actual indica que la existencia de una posible relación entre exposición a RF débiles y riesgo incrementado de cáncer, no está avalada por datos consistentes.

2. **Estudios experimentales:**

- **Efectos genotóxicos y efectos cancerígenos (Tablas 3 y 4):** En general, los datos de que disponemos actualmente indican que, por debajo de los niveles a que se dan efectos térmicos, las RF no generan respuestas mutagénicas y no influyen en la iniciación de cánceres. Los estudios que sugieren una posible acción cancerígena o de influencia en procesos de promoción o progresión tumoral son considerados demasiado escasos para constituir un bloque de evidencia firme, aunque sí son suficientes para aconsejar la realización de nuevos estudios, de acuerdo con recomendaciones de la WHO [15].
- **Los efectos sobre el sistema nervioso (Tabla 5):** Pocos estudios de los realizados hasta el presente han mostrado indicios de posibles efectos no térmicos a nivel de sistema nervioso. En general, las consecuencias que los efectos observados (cambios en el electroencefalograma o en la actividad colinérgica de animales) pudieran tener sobre la salud, no puede ser determinada hasta que los resultados sean replicados y las investigaciones sean ampliadas para proporcionar datos más completos.
- **Otros estudios:** Trabajos recientes han investigado un conjunto de dolencias o molestias que incluye dolores de cabeza, insomnio o cambios en el electroencefalograma, en personas expuestas a RF débiles [51-54]. Los datos acumulados hasta la fecha no constituyen evidencia de asociación entre exposiciones a RF emitidas por las estaciones de telefonía móvil y las perturbaciones, generalmente subjetivas, declaradas por los sujetos estudiados.

En general, en los trabajos experimentales se han empleado intensidades de exposición muy por encima de los límites de seguridad establecidos por las normativas citadas anteriormente. Algunos de estos trabajos pusieron de manifiesto posibles efectos cancerígenos, co-cancerígenos o genotóxicos de las exposiciones empleadas. De entre ellos, ninguno ha sido replicado independientemente, en algunos casos porque todavía no se ha realizado un intento de réplica, en otros, porque el intento ha generado resultados negativos. En estas condiciones, la opinión general entre los especialistas es que actualmente no existe evidencia firme de efectos nocivos para la salud derivados de exposiciones a RF en niveles inferiores a los límites vigentes. No obstante, poseemos indicios, limitados pero repetidos, de posibles efectos no térmicos de las RF que hacen aconsejable la ampliación y profundización en la investigación de los mecanismos biológicos y biofísicos de respuesta a estas radiaciones no ionizantes [15].

Conclusiones

El empleo de la telefonía móvil es considerado fundamental para modelos de progreso basados en el desarrollo de métodos eficientes de transferencia de información. En los últimos años se ha registrado un incremento notable en el uso de dicho sistema de telefonía, y es previsible que la tasa de crecimiento se mantenga en el futuro. Estas condiciones llevan aparejada la necesidad de multiplicar el número de BTS que da servicio a la telefonía móvil. Con objeto de valorar la posibilidad de que las emisiones RF de las antenas instaladas en las BTS pudieran tener algún impacto sobre la salud de las personas potencialmente expuestas, las compañías telefónicas, la industria y la autoridades sanitarias de la Unión Europea están realizando un importante esfuerzo de investigación en este terreno. Así, se han venido desarrollando diversos programas dirigidos a responder cuestiones fundamentales relativas a salud pública, a través de estudios experimentales y epidemiológicos. Paralelamente, se han realizado avances notables en materia de estimación de niveles reales de exposición y de elaboración de normativas de seguridad fiables, que son revisadas periódicamente a la luz de los datos que arrojan las investigaciones.

En conjunto, las valoraciones de los resultados obtenidos a partir de los estudios realizados hasta la fecha, coinciden en señalar que no existen evidencias firmes de efectos adversos derivados de exposiciones a RF de niveles inferiores a los establecidos por las normativas vigentes. Se entiende pues, que los temores a posibles efectos nocivos de la exposición a RNI emitidas por antenas de telefonía móvil carecen de fundamento suficiente. En general, dichos temores se basan en informaciones no contrastadas, que no han sido sometidas al filtro del estudio por parte de los equipos expertos que revisan y evalúan la validez de un trabajo como condición para su publicación en revistas científicas/técnicas especializadas.

En cualquier caso, la profundización en la investigación de respuestas biológicas a radiaciones RF es considerada una tarea prioritaria [15]. En efecto, la ampliación de nuestros conocimientos en dicha materia permitiría el establecimiento de niveles de seguridad más precisos, aunque no necesariamente más restrictivos. Esto contribuiría a evitar la aparición y diseminación de fobias que, aun cuando carezcan de una base firme, generan inseguridad en los ciudadanos y originan desconfianza hacia las compañías y hacia los organismos responsables de protección radiológica.

REFERENCIAS

1. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: Health issues related to the use of hand-held radiotelephones and base transmitters. *Health Physics* 70: 587-593, 1996
2. IEEE Standards Coordinating Committee 28 on Non-Ionizing Radiation Hazards: Standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz (ANSI/IEEE C95.1-1991), The Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, 1992.
3. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: Electromagnetic Fields (300 kHz to 300 GHz). *Environmental Health Criteria* 137. World Health Organization, 1993.
4. ICNIRP guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 30 GHz).
Health Physics 74: 494-522, 1998.
5. National Radiation Protection Board: Restrictions on human exposure to static and time varying electromagnetic fields and radiation. Doc. NRPB 4: 1-69, 1993.
6. K.O. Müller, M. Stecher: EMV - Gesetze und Normen. Informationsheft der ROHDE&SCHWARZ GmbH & Co KG, February 1995.
7. E. Zemann: Technical principle of Mobile Radio Engineering and Limiting Values. En: *Electromagnetic Compatibility of Biological Systems*. vol. 5: Biological Effects of High-Frequency Electromagnetic Fields of Mobile Radiotelephone Systems and Police Radio; K. Brinkmann T.G. Friederich Eds. Verlag. pp: 11-41 1997.
8. E.D. Mantiplay, K.R. Pohl, S.W. Poppell, J.A. Murphy: Summary of measured radiofrequency electric and magnetic fields (10 kHz to 30 GHz) in the general work and environment. *Bioelectromagnetics* 18: 563-577, 1977.
9. R.C. Petersen et al: Radio-frequency electromagnetic fields associated with cellular-radio cell-site antennas. *Bioelectromagnetic* 13: 527-542, 1992.
10. J. Moulder: Cellular Phone Antennas and Human Health, Version 2.0.6 y anteriores, <http://www.mcw.edu/gcrc/cop/>.

J. Moulder & C. Llanos: Antenas de Telefonía Móvil y Salud Humana. Traducción española de la Versión 2.0.5 del documento (<http://www.mcw.edu/gcrc/cop/telefonos-moviles-salud/toc.html>).

11. J.R. Goldsmith: Epidemiologic evidence of radiofrequency (microwave) effects on health in military, broadcasting, and occupational studies. *Int. J. Occup. Environ Health* 1: 47-57, 1995.

12. J.R. Goldsmith: Epidemiologic evidence relevant to radar (microwave) effects. *Environ. Health Perspectives* 105: 1579-1587, 1997.

13. R. de la Rosa: Electropolución: Elementos de riesgo en el entorno. En: *Contaminación Electromagnética; las radiaciones y sus efectos sobre la salud*. Terapion Ed., Valencia. pp. 157-188, 1994.

14. C.M. Requejo: Energías de baja frecuencia. En: *Estrés de Alta Tensión, Contaminación Electromagnética*, DIDACO S.A., Ed., Barcelona. pp. 89-102, 1998

15. M.H. Repacholi: Low-Level Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields: Health Effects and Research Needs *Bioelectromagnetics* 19: 1-19 1998.

16. UNEP/WHO/IRPA: "Electromagnetic Fields (300 Hz-300 GHz). Environmental Health Criteria 137." (United Nations Environment Programme, World Health Organization, International Radiation Protection Association.) Geneva: World Health Organization, 1993.

17. R.D. Saunders, C.I. Kowalczyk, Z.J. Sienkiewicz: Biological effects of exposure to non-ionizing electromagnetic fields and radiation: III. Radiofrequency and microwave radiation. Chilton, UK: National Radiological Protection Board, NRPB-R240. (London HMSO), 1991.

18. S. Szmigielski, M. Bielec, S. Lipski, G. Sokolska: Immunologic and cancer-related aspects of exposure to low-level microwave and radiofrequency fields. In Marino AA (ed.): "Modern Bioelectricity". New York: Marcel Dekker pp. 861-925, 1988.

19. S. Szmigielski: Cancer mortality in subjects occupationally exposed to high-frequency (radiofrequency and microwaves) electromagnetic radiation. *Sci. Total Environ.* 180: 9-17, 1996.

20. B. Hocking, I.R. Gordon et al: Cancer incidence and mortality and proximity to TW towers. *Med. J. Austral* 165: 601-605, 1996.

21. D.R. McKenzie et al: Childhood incidence of acute lymphoblastic leukemia and exposure to broadcast radiation in Sydney: A second look. *Aust New Zealand J. Public Health* 22: 360-367, 1998.
22. H. Dolk, G. Shaddick et al: Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain I. Sutton Coldfield Transmitter. *Amer. J. Epidemiol.* 145: 1-9, 1997.
23. H. Dolk, P. Elliott et al: Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain. II. All high power transmitters. *Amer. J. Epidemiol.* 145: 10-17, 1997.
24. H. Lai & Singh: Acute low-intensity microwave exposure increases DNA single-strand breaks in rat brain cells. *Bioelectromagnetics* 16: 207-210, 1995.
25. H. Lai and N.P. Singh: Single-and double-strand DNA breaks in rat brain cells after acute exposure to radiofrequency electromagnetic radiation. *Int. J. Radiat. Biol.* 69: 513-521, 1996.
26. R.S. Malyapa et al: Measurement of DNA damage following exposure to 2450 MHz electromagnetic radiation. *Radiat. Res.* 148: 608-617, 1997.
27. R.S. Malyapa et al: Measurement of DNA damage following exposure to electromagnetic radiation in the cellular communications frequency band (835.62 and 847.74 MHz). *Radiat. Res.* 148: 618-627, 1997.
28. R.S. Malyapa et al: Measurement of DNA damage by the alkaline comet assay in rat brain cells after in vivo exposure to 2450 MHz electromagnetic radiation. 2nd World Congress, Bologna, 1997.
29. C.D. Cain et al: Focus formation of C3H/10T1/2 cells and exposure to a 836.55 MHz modulated radiofrequency field. *Bioelectromagnetics* 18: 237-243, 1997.
30. A. Maes, M. Collier et al: 954 MHz microwaves enhance the mutagenic properties of mitomycin C. *Environ. Molec. Mutagen.* 28: 26-30, 1996.
31. M.R. Scarfi et al: Genotoxic effects of mitomycin-C and microwave radiation on bovine lymphocytes. *Electro- and Magnetobiology* 15: 99-107, 1996.
32. L. Verschaeve and A. Maes: Genetic, carcinogenic and teratogenic effects of

radiofrequency fields. *Mutat. Res.* 410: 141-165, 1998.

33. D. Brusick et al: Genotoxicity of radiofrequency radiation. *Environ. Molec. Mutagen.* 32: 1-16, 1998.

34. S. Szmigielski, A. Szudzinski, A. Pietraszek, M. Bielec, J.K. Wremberl: Accelerated development of spontaneous and benzopyrene-induced skin cancer in mice exposed to 2450 MHz microwave radiation. *Bioelectromagnetics* 3: 179-191, 1982.

35. L.G. Salford, A. Brun, B.R. Persson, J. Eberhardt: Experimental studies of brain tumor development during exposure to continuous and pulsed 915 MHz radiofrequency radiation. *Bioelectrochem. Bioenerg.* 30: 313-318, 1993.

36. S. Sarkar, S. Ali, J. Behari: Effect of low power microwave on the mouse genome: A direct DNA analysis. *Mutat. Res.* 320: 141-147, 1994.

37. C.G. Liddle et al: Alteration of life span of mice chronically exposed to 2.45 GHz CW microwaves. *Bioelectromagnetics* 15: 177-181, 1994.

38. M.H. Repacholi, A. Basten et al: Lymphomas in E μ -Pim1 Transgenic Mice Exposed to Pulsed 900 MHz Electromagnetic Fields. *Rad. Res.* 147: 631-640, 1997.

39. C.K. Chou et al: Long-term, low-level microwave irradiation of rats. *Bioelectromag.* 13: 469-496, 1992.

40. A.W. Guy: Bioeffects of long-term exposure to animals. In Klauenberg B.J., Grandolfo M., Erwin D.N. (eds.): *Radiofrequency Radiation Standards, Biological Effects, Dosimetry, Epidemiology, and Public Health Policy*. Plenum Press, NATO ASI Series A: Life Sciences 274:311-326, 1994.

41. R.Y. Wu et al: Effects of 2.45 GHz microwave radiation and phorbol ester 12-O-tetradecanoylphorbol-13-acetate on dimethylhydrazine-induced colon cancer in mice. *Bioelectromagnetics* 15: 531-538, 1994.

42. J.C. Toler et al: Long-term low-level exposure of mice prone to mammary tumors to 435 MHz radiofrequency radiation. *Radiat. Res.* 148: 227-234, 1997.

43. M.R. Frei et al: Chronic exposure of cancer-prone mice to low-level 2450 MHz radiofrequency radiation. *Bioelectromagnetics* 19: 20-31, 1998.

44. K. Imaida et al: Lack of promoting effects of the electromagnetic near-field used for cellular phones (929.2 MHz) on rat liver carcinogenesis in a medium-term liver bioassay. *Carcinogenesis* 19: 311-314, 1998.
45. C. Neubauer, A.M. Phelan, H. Kues, D.G. Lange: Microwave irradiation of rats at 2.45 GHz activates pinocytic-like uptake of tracer by capillary endothelial cells of cerebral cortex. *Bioelectromagnetics* 11: 261-268, 1990.
46. L.G. Salford, A. Brun, K. Stureson, J.L. Eberhardt, B.R. Persson: Permeability of the blood-brain barrier induced by 915 MHz electromagnetic radiation, continuous wave and modulated at 8, 50, and 200 Hz. *Micro. Res. Tech.* 27: 535-542, 1994.
47. H. Lai, A. Horita, A.W. Guy: Acute low-level microwave exposure and central cholinergic activity: Studies of irradiation parameters. *Bioelectromagnetics* 9: 355-362, 1988.
48. H. Lai, M.A. Carino, A. Horita, A.W. Guy: Low-level microwave irradiation and central cholinergic activity: A dose-response study. *Bioelectromagnetics* 10: 203-208, 1989.
49. EC: Public health and safety at work, non-ionizing radiation: sources, exposure and health effects. En McKinlay AF (Ed): "Directorate General V, Employment, Public Relations and Social Affairs." Luxembourg: European Commission, 1996.
50. EC: Possible health effects related to the use of radiotelephones. Proposals for a research programme by the European Commission Expert Group. En McKinlay AF (Ed): "Directorate General XIII, Telecommunications, Information Market and Exploitation of Research." Brussels: European Commission, 1996.
51. L. Von Klitzing: Low-frequency pulsed electromagnetic fields influence EEG of man. *Physica Medica* April/June: 77-80, 1995.
52. K. Mann, J. Röschke: Effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on human sleep. *Neuropsychobiology* 33: 41-47, 1996.
53. E.S. Altpeter, T.H. Krebs, D.H. Plugger et al: Study on health effects of shortwave transmitter station of Schwarzenberg, Berne, Switzerland, University of Berne, BEW Publication Series, Study No. 55, Berne, pp. 155, 1995.
54. A. Bortkiewicz, M. Zmyslony, C. Palczynski, E. Gadzicka, S. Szmigielski: Dysregulation of

autonomic control and cardiac function in workers at AM broadcasting stations (0.738-1.503 MHz). Electromagnetobiology 14: 177-192, 1995.

TABLA 1: Resumen de niveles de referencia (NR) y restricciones básicas (RB) para exposiciones a RF. ICNIRP Guidelines (1998) [4]

Frecuencia (MHz)	Densidad de potencia (W/m ²)		Localización	SAR W/kg (Entre 0,1 y 10000 MHz)	
	Público	Ocupacional		Público	Ocupacional
400-2000	f/200 (NR)	f/40 (NR)	Cuerpo completo	0,08 (RB)	0,4 (RB)
2000-300000	10 (NR)	50 (NR)	Cabeza y tronco	2 (RB)	10 (RB)
10000-300000	10 (RB)	50 (RB)	Miembros	4 (RB)	20 (RB)

Notas a las Restricciones Básicas (RB): Las RB son restricciones en los niveles de exposición basadas en efectos sobre la salud bien establecidos. Para asegurar una protección contra tales efectos, los valores correspondientes no deben ser rebasados.

1. Todos los valores SAR han de ser promediados sobre cualquier periodo de 6 minutos.
2. Valores SAR para cabeza + tronco y para miembros, absorbidos por 10 gramos de tejido contiguo.
3. Las densidades de potencia han de ser promediadas sobre cualquier área de 20 cm² de superficie expuesta y para periodos de $68/f^{1,05}$ minutos (f es la frecuencia en GHz), para compensar la reducción de la penetración al incrementar la frecuencia.
4. Las densidades de potencia máximas, promediadas sobre 1 cm², no deben exceder en más de 20 veces los valores de la tabla.

Notas a los Niveles de Referencia (NR) de exposición: Los valores de NR se basan en las RB y se han obtenido a partir de modelos matemáticos y de extrapolaciones de resultados experimentales. Los NR se proporcionan para ser comparados con valores medidos en el ambiente. Aquellas condiciones que no sobrepasen los niveles de referencia cumplirán con seguridad las restricciones básicas. Mediciones que den valores superiores a los NR no implican necesariamente que las RB hayan sido sobrepasadas, pero sí aconsejan análisis más detallados para garantizar el cumplimiento de las restricciones.

1. Para frecuencias inferiores a 10000 MHz los valores han de ser promediados sobre cualquier periodo de 6 minutos. Para frecuencias superiores, los promedios serán sobre periodos de $68/f^{1,05}$ minutos (f es la frecuencia en GHz).
2. Para frecuencias superiores a los 10 MHz se propone que el valor pico de densidad de potencia, promediado sobre la anchura del pulso, no supere en 1000 veces los valores dados.

TABLA 2: Estudios epidemiológicos

Autor	Condición	Exposición RF	Resultados
Szmigielski et al. [18, 19]	Personal militar expuesto a RF	RF de radares	Tasas altas de leucemia y linfoma
Hocking et al [20]	Proximidad a torres TV	Calculada. No mediciones	Alta incidencia de leucemia en adultos y niños. No asociación con otros cánceres
McKenzie et al [21]	Intento de replicar estudio de Hocking et al. [15]	Cálculos más refinados que en [15]	Confirman alta incidencia de leucemia infantil en un área próxima a las antenas, pero no en otras áreas similares. Las tasas reportadas en [15] parecen haber sido sobrestimadas
Dolk et al. [22]	Proximidad a <u>una</u> torre FM - TV	No mediciones	Cáncer de piel y leucemia en adultos en un radio de 2 km. No otros cánceres
Dolk et al. [23]	Proximidad a <u>veinte</u> torres FM - TV	No mediciones	No asociación cáncer - distancia a las antenas.

TABLA 3: Estudios de genotoxicidad (daño en el material genético).

Autor	Condición	Exposición RF	Resultados
Lai & Singh [24, 25]	Ratas, <i>in vivo</i>	2,45 GHz 0,6-1,2 W/kg alta intensidad 4h exposición	Daño genético. Rotura de bandas ADN en células nerviosas. ¿Artefacto debido a deficiencias metodológicas?*
Mayalpa et al. [26 - 28]	Ratas, <i>in vivo</i>	Intento de réplica de condiciones de Lai & Singh	No detectados efectos en AND de células nerviosas
Cain et al [29]	Cultivos de células fibroblásticas	2,45 GHz 1-12,5 W/kg	No detectados efectos genotóxicos
Maes et al. [30]	Cultivos de células sanguíneas humanas	954 MHz 1,5 W/kg	Potencia el daño genético provocado por un cancerígeno químico
Scarfi et al [31]	Cultivos de leucocitos	90 GHz 70 W/kg ¿Efecto térmico?	Provoca daño genético. Potencia genotoxicidad de un cancerígeno químico
UNEP/WHO/IRPA [16]	Estudios <i>in vitro</i> , Revisión	RF a diferentes frecuencias e intensidades	No daño en ADN o estructuras cromosómicas excepto para RF capaces de elevar temperatura del cultivo

Verschaeve & Maes [32]	Estudios <i>in vitro</i> o <i>in vivo</i> , Revisión	RF a diferentes frecuencias e intensidades	No daño en ADN o estructuras cromosómicas excepto para RF capaces de elevar temperatura del sistema biológico
Brusick et al. [33]	Estudios <i>in vitro</i> o <i>in vivo</i> , Revisión	RF a diferentes frecuencias e intensidades	Las RF no son mutagénicas. Efectos genotóxicos sólo para RF que generan hipertermia; sin embargo no pueden descartarse posibles efectos sutiles, indirectos, no térmicos

*. G.M. Williams, Comentario sobre [24] publicado en Bioelectromagnetics 17: 165, 1996

TABLA 4: Efectos cancerígenos en animales.

Autor	Condición	Exposición RF	Resultados
Szmigielski et al [34]	Ratones tratados con dosis subcancerígenas de un cancerígeno químico	2,45 GHz, 4-5 W/kg	En tratados con RF se triplicó la frecuencia de tumores de piel ¿Efecto térmico?
Salford et al. [35]	Ratas inyectadas con células de tumor cerebral	915 MHz	No incidencia en la progresión de tumores cerebrales
Sarkar et al [36]	Ratones	2,45 GHz, 10 W/m ² (1,18 W/kg)	Alteraciones del material genético en cerebro y testículos
Liddle et al. [37]	Ratones	2,45 GHz, 2 - 6,8 W/kg 1 h/día, 5 días/semana, toda la vida	No indicios de incremento de incidencia de cáncer. Los expuestos a 6,8 W/kg murieron antes. Posible efecto térmico.
Repacholi [38]	Ratones modificados genéticamente: proclives a desarrollar linfoma	RF intensas, señal modulada imitando las de telefonía móvil; 1h/día, intermitente durante 18 meses	Incremento de incidencia de linfoma. No incremento de otros tipos de cáncer
Chou et al. [39] Guy [40]	Ratas	2,45 GHz 0,4 W/kg 2-27 meses exposición	Lesiones malignas aparecen antes y son más frecuentes. Los resultados pueden no ser de relevancia biológica, según los autores.
Wu et al. [41]	Ratones tratados con cancerígeno específico de cáncer de colon	2,45 GHz 10 mW/cm ² durante 5 meses	No incremento de cáncer de colon en comparación con controles no expuestos a RF

Toler et al. [42]	Ratones proclives a desarrollo de cáncer de mama	Pulsos a 435 MHz, 1 mW/ cm ² durante 21 meses.	No incremento de cáncer de mama en comparación con controles no expuestos a RF
Frie et al. [43]	Ratones proclives a desarrollo de cáncer de mama	2,45 GHz 0,3 W/kg 20 h/día, 18 meses	No incremento de incidencia de tumores mamarios u otros tipos de cáncer en comparación con controles no expuestos a RF
Imaida et al [44]	Ratas tratadas con cancerígeno hepático	929 MHz, 0,6 - 0,9 W/kg 1:30 h/día, 6 semanas	No incremento de incidencia de tumores hepáticos en comparación con controles expuestos sólo al cancerígeno químico.

TABLA 5: Estudios de neurotoxicidad y efectos sobre el sistema nervioso

Autor	Condición	Exposición RF	Resultados
UNEP/WHO/IRPA [16]	Estudios <i>in vivo</i> , Revisión	RF a diferentes frecuencias e intensidades	No cambios en permeabilidad de barrera hematoencefálica* a dosis "subtéricas".
	Gatos, conejos	RF moduladas en amplitud	alteraciones en el electroencefalograma
Neubauer et al [45] Salford [46]	Ratas	915 MHz - 2,45 GHz	Incremento en permeabilidad de barrera hematoencefálica* a SAR 0,016 W/kg y superiores
Lai et al. [47, 48]	Ratas	2,45 GHz (pulsos de 2ms, 500 pps) 0,6 W/kg	Alteraciones en actividad colinérgica del cerebro

***Barrera hematoencefálica:** Complejo neurovascular que constituye un filtro capaz de regular el paso selectivo de moléculas desde la sangre hacia el cerebro. Mantiene el equilibrio fisiológico del medio en que ha de funcionar el cerebro.

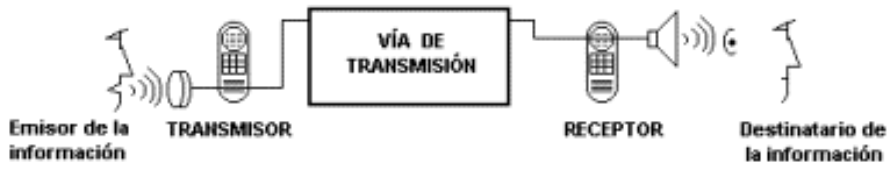


Figura 1. Diagrama de los elementos que configuran la vía telefónica de transmisión de la información.

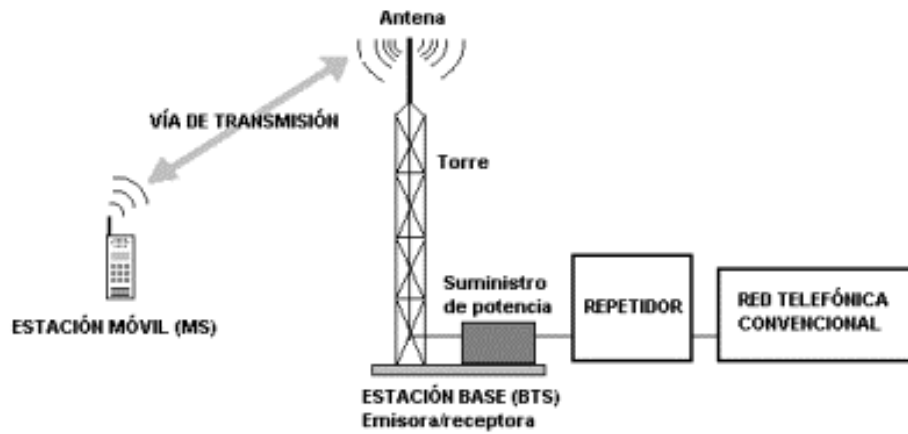


Figura 2. Esquema de los elementos que intervienen en la radiocomunicación entre un teléfono móvil (MS) y la red convencional de telefonía, a través de una antena situada en una estación base (BTS).

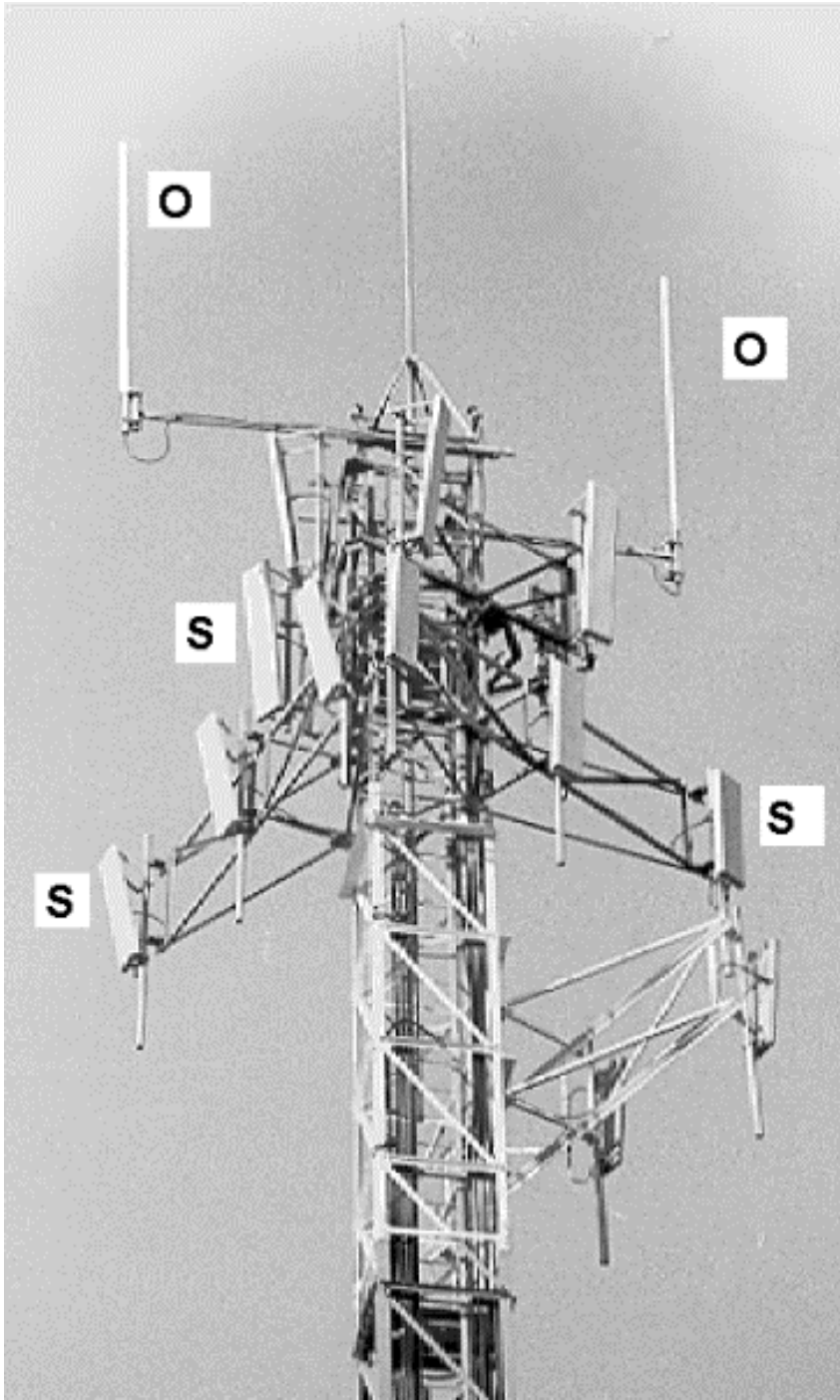


Figura 3: Antenas montadas en la torre de una estación base en una zona rural. O: Antenas omnidireccionales, de sección transversal circular. S: Antenas sectoriales; sección rectangular.

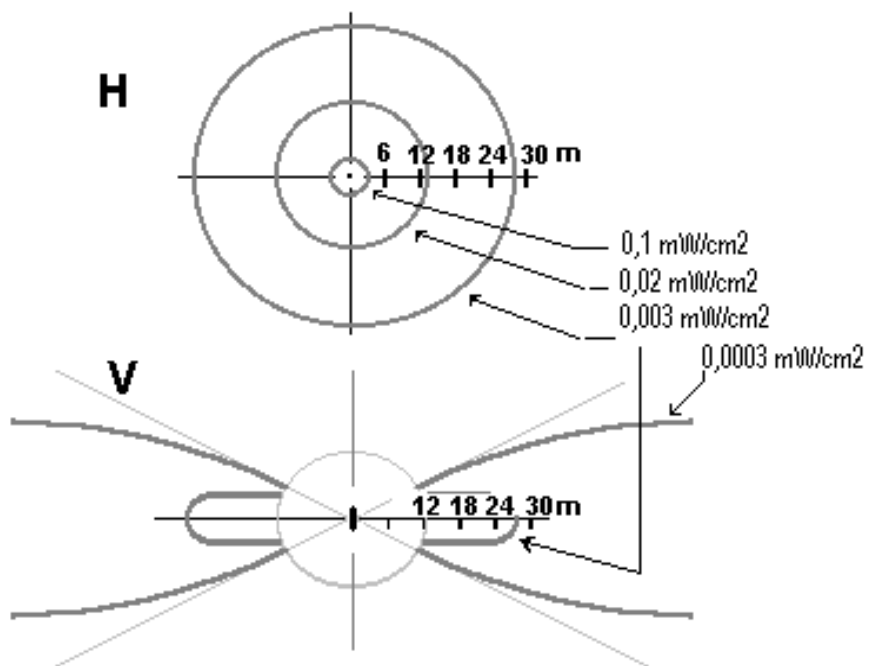


Figura 4: Niveles teóricos de emisión en una antena omnidireccional, para una potencia de 300 W. H: Sección transversal de la emisión (horizontal). V: Sección axial (vertical). Adaptado a partir de esquemas originales de J. Moulder y C. Llanos [53] (con el permiso de los autores).

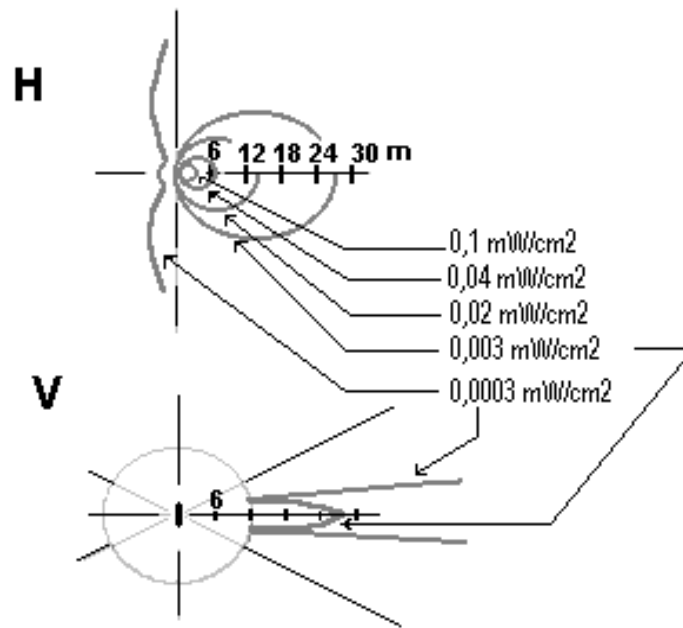


Figura 5: Niveles teóricos de emisión en una antena sectorial para una potencia de 300 W. H: Sección transversal de la emisión (horizontal). V: Sección axial (vertical). Adaptado a partir de esquemas originales de J. Moulder y C. Llanos [53] (con el permiso de los autores).

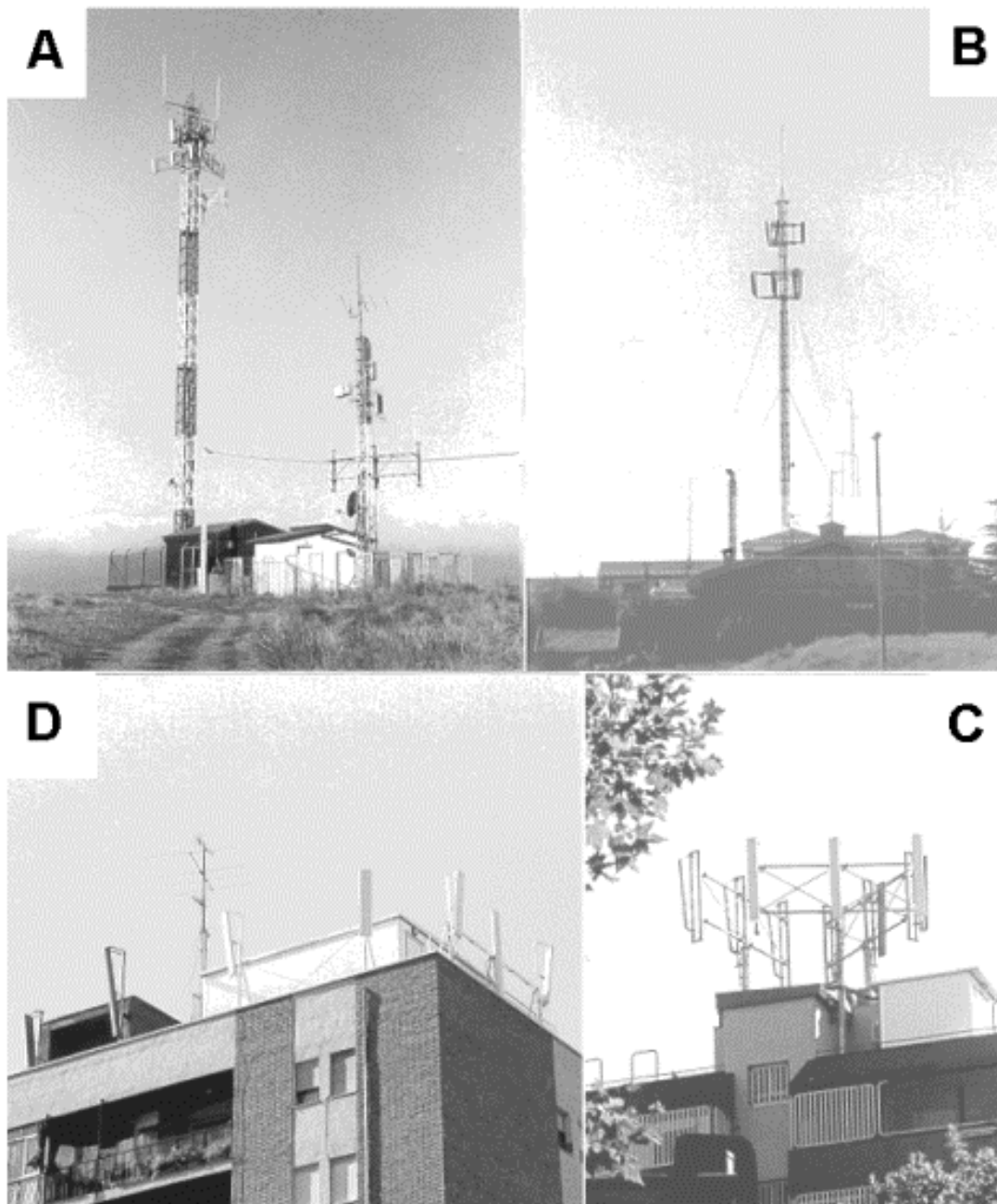


Figura 6. Distintos tipos de estaciones base y de antenas montadas sobre diferentes estructuras. A: Estación base localizada en una zona rural. La torre combina antenas omnidireccionales y antenas sectoriales. B: Torre con antenas sectoriales en una zona de chalets dentro de un área urbana. C: Antenas sectoriales montadas en disposición triangular sobre la azotea de un edificio de apartamentos. D: Montaje en empalizada sobre una azotea.

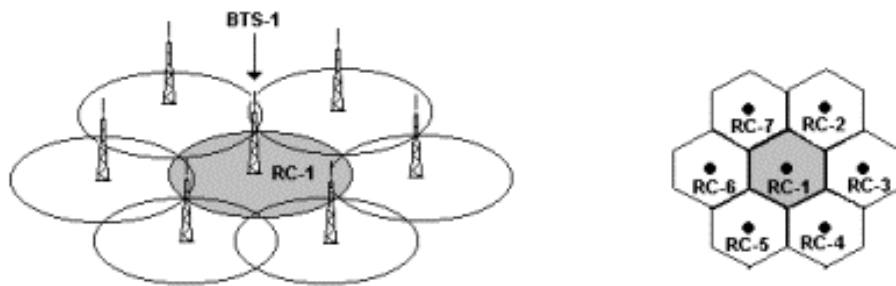


Figura 7. Representación de una red de radiocélulas (RC) de telefonía móvil constituida por siete estaciones base (BTS) que, solapándose entre sí, cubren un área geográfica determinada. A la derecha se muestra un esquema de la misma red, en la que cada radiocélula (RC-1 a RC-7), con su correspondiente estación en el centro, es representada como un hexágono que posee límites comunes con radiocélulas adyacentes.

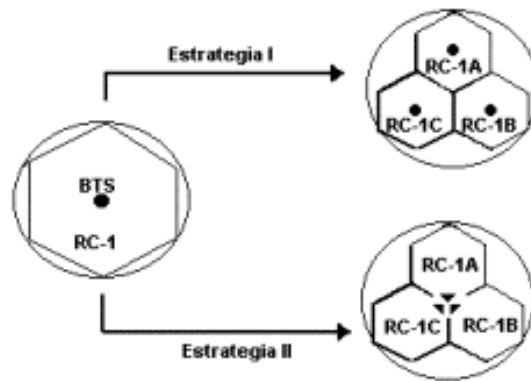


Figura 8. Evolución de una antena omnidireccional (BTS) para adecuarse a cambios en las necesidades de servicio de una radiocélula (RC-1). En la estrategia I se optó por instalar en la zona cubierta por la radiocélula #1, tres nuevas BTS, cada una con una antena omnidireccional, dando lugar a tres nuevas radiocélulas (RC-1A, -1B y -1C), más pequeñas que la primera. En la estrategia II se mantuvo la BTS original, instalando en ella antenas en sector, cada una de las cuales cubrirá el área correspondiente a las tres radiocélulas citadas.

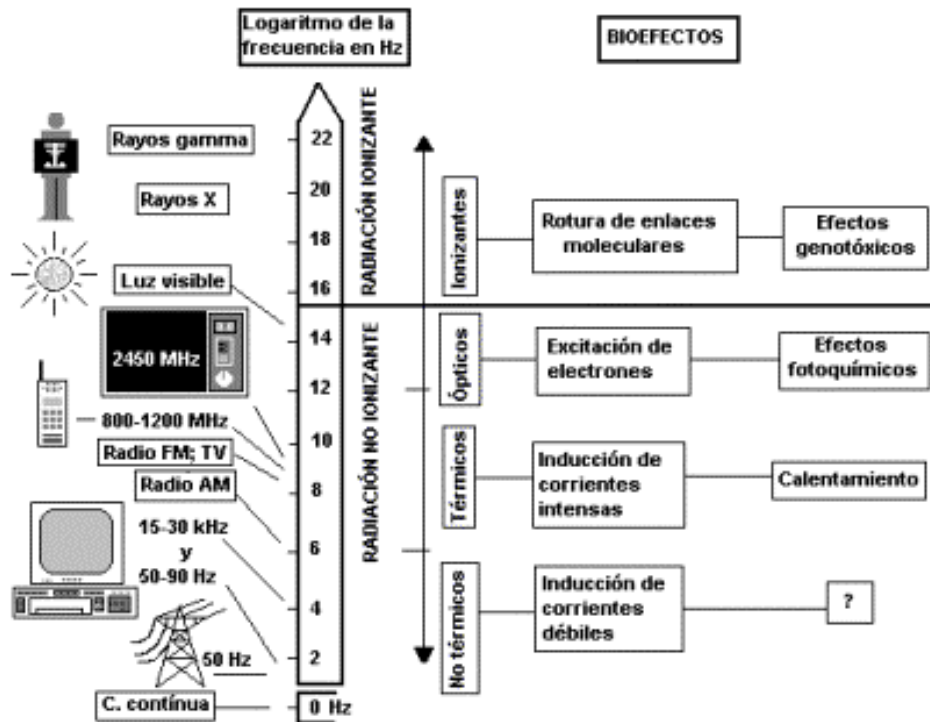


Figura 9: Las radiaciones electromagnéticas y sus efectos biológicos en función de la frecuencia de las ondas.