Campos electromagnéticos y salud (IV): efectos biológicos

Con este artículo finaliza la serie *Campos electromagnéticos y salud* que VídeoPopular ha publicado a lo largo de este año (números: 91, 92 y 93), dedicada a conceptos básicos de electromagnetismo, la telefonía móvil, normativas-recomendaciones y, finalmente, el presente sobre los efectos biológicos.

No cabe duda de que es un tema social importante de debate permanente, que ha desatado numerosas polémicas en nuestro país y que demandaba una actuación urgente de regulación y control por parte del gobierno.

Durante este año algunas Comunidades Autónomas como Catalunya, han elaborado un Decreto específico al respecto y el gobierno español, a través del Ministerio de la Presidencia, publicó el pasado 28 de septiembre el R.D. 1066/2001 en el que aprueba determinadas medidas de protección sanitaria frente a las emisiones radioeléctricas acordes con las recomendaciones europeas actuales, aunque manteniendo algunas diferencias con el Decreto publicado por la Generalitat de Catalunya.

Los estudios e investigaciones no deben cesar hasta que la comunidad científica alcance una conclusión unánime y definitiva sobre los efectos que los campos electromagnéticos puedan producir en la salud de los seres vivos, para, si es necesario, tomar las medidas de prevención adecuadas.

Es aconsejable un uso racional de los teléfonos móviles por los niños, con objeto de reducir exposiciones innecesarias.

Introducción

Los campos electromagnéticos son agentes físicos con los que convivimos diariamente y proceden de diversas fuentes, naturales y artificiales. Curiosamente, algunos son imprescindibles para la existencia de la vida (luz) y otros provienen del progreso tecnológico de nuestra sociedad, lo cual los convierte prácticamente en necesarios. Un ejemplo claro es la telefonía móvil que permite una gran capacidad de comunicación, facilitando nuestra vida social y empresarial. Esta tecnología, sin embargo, está siendo objeto de minuciosos estudios y análisis con el fin de averiguar si puede influir negativamente en nuestra salud.

El sistema de telefonía móvil, con sus estaciones base, paneles de antenas y terminales de usuario, transmite la información mediante campos electromagnéticos variables, utilizando una determinada banda del espectro de frecuencias (microondas). El hecho de que exista una exposición continua e involuntaria (personas que viven cerca de los paneles de antenas instalados principalmente en los edificios) y/o voluntaria y esporádica (el usuario del propio terminal móvil) y en base a determinadas opiniones científicas, ha provocado una polémica y debate en nuestra sociedad acerca de su incidencia y posibles efectos perjudiciales en nuestro complejo sistema biológico.

En este artículo, que en absoluto pretende ser un resumen sobre la situación actual sino una simple exposición sobre una pequeña parte de las diversas opiniones existentes, se citarán y comentarán los resultados o conclusiones de algunos de los múltiples estudios publicados por investigadores o científicos. Se mostrarán opiniones contradictorias así como determinadas referencias bibliográficas, para aquellos lectores interesados en profundizar más sobre esta interesante temática. Al final del artículo se citan las fuentes bibliográficas más importantes en las que se ha basado este resumen.

Efectos biológicos

Los efectos biológicos causados por los campos electromagnéticos variables se basan en la composición o estructura bioeléctrica de nuestro organismo. El cuerpo humano, igual que toda materia, está formado por moléculas, átomos y cargas eléctricas, existiendo gran cantidad de ellas, en estado libre, principalmente en los diversos fluidos que contiene.

Una exposición a campos electromagnéticos provoca un movimiento de dichas cargas generando corrientes eléctricas inducidas en el interior del organismo cuya intensidad depende del nivel y frecuencia del campo externo, así como de la postura u orientación del cuerpo respecto al mismo. Sus intensidades, sin embargo, suelen ser bastante inferiores a las que el propio organismo genera en las transmisiones neuronales o los latidos del corazón.

Los efectos biológicos se producen en cualquier ser vivo ya sean células, plantas, animales o seres humanos. Se entiende como efecto biológico aquél cambio fisiológico perceptible o detectable que aparece cuando existe una exposición a campos electromagnéticos. Ello no significa que todo efecto biológico sea perjudicial para la salud. Lo será cuando sobrepase la capacidad normal de regulación de nuestro organismo y se origine un proceso patológico. No olvidemos que nuestro organismo es capaz de responder fisiológicamente a estímulos externos para adaptarse al entorno de forma equilibrada.

Los efectos biológicos pueden ser beneficiosos, inocuos y perjudiciales. Por ejemplo, la sensación de bienestar en una exposición a la luz solar (campos electromagnéticos) en un frío día de invierno es

agradable y además beneficiosa si tenemos en cuenta que favorece la producción de vitamina D por nuestro organismo; sin embargo una sobreexposición al sol puede producir graves quemaduras e incluso cáncer de piel. Otro ejemplo evidente es la utilización de los campos electromagnéticos en aplicaciones terapéuticas. Un uso excesivo podría provocar lesiones en los tejidos pero una correcta aplicación es beneficiosa ya que puede, por ejemplo, reducir una inflamación de un tejido lesionado.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece cuáles son las características que debe tener una respuesta biológica para considerarla perjudicial o no:

La reversibilidad o irreversibilidad del efecto cuando la causa desaparece.

La existencia o no de procesos fisiológicos que permitan compensar eficazmente el efecto.

La probabilidad de que la respuesta produzca efectos nocivos en el ámbito físico, mental o social del individuo.

Cuando un ser vivo es sensible a la exposición de campos electromagnéticos, a una determinada frecuencia, su organismo puede producir determinadas modificaciones en su sistema biológico como mecanismo de adaptación al medio. Si estas modificaciones son reversibles, es decir, si al cabo de un determinado tiempo y una vez desaparecida la causa, desaparece la alteración inicial, el sistema biológico volverá a una situación de equilibrio o de normalidad. El problema se producirá cuando el proceso sea irreversible por lo que, al cabo del tiempo, es de esperar que exista una situación de riesgo de enfermedad.

Clasificación

Los campos electromagnéticos producen determinados efectos en su interacción con los organismos biológicos, existiendo numerosas evidencias científicas al respecto[1]. El más conocido, a nivel doméstico por el uso del horno "microondas", es el efecto térmico, es decir la capacidad de calentamiento debido a la agitación y vibración de las moléculas de agua que forman los tejidos.

Sin embargo, no todos los efectos se explican por la absorción de energía y su conversión en calor. Se ha comprobado mediante algunos experimentos que existen interacciones a nivel microscópico que causan alteraciones en los sistemas biológicos macromoleculares y que ello depende posiblemente de la frecuencia de resonancia. Las frecuencias de la banda de microondas no pueden ionizar las estructuras moleculares pero pueden excitar sus estados de rotación y vibración.

Actualmente, pues, se consideran dos tipos de efectos biológicos como respuesta a la exposición a los campos electromagnéticos variables: térmicos y no térmicos

Según cita el Dr. William Steward, miembro del Independent Expert Group on Mobile Phones (IEGMP) : *"...hay dos medios directos por los que la salud puede ser afectada por exposición a radiaciones electromagnéticas RF. Estos son por efecto térmico (calentamiento) causado principalmente al sujetar el teléfono móvil junto al cuerpo, y como resultado de posibles efectos no-térmicos por los teléfonos y las estaciones base"*

El portavoz de la Comisión Europea, Sr. Flynn, respondió así a una pregunta escrita el día 23 de octubre de 1997: "*... la radiación electromagnética puede producir efectos térmicos, asociados con la transformación de la energía en calor. Estos efectos están sólidamente atestiguados desde el punto de vista científico y constituyen la base biológica para las directrices sobre límites de exposición elaboradas por organismos internacionalmente reconocidos de científicos eminentes, entre los que destaca la Comisión Internacional sobre la Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP). Por el contrario no se ha probado la existencia de efectos potenciales no térmicos tales como la inducción y propagación del cáncer, que se están investigando en la actualidad...*".

Efectos térmicos: El efecto térmico se produce al transformarse la energía electromagnética absorbida en calor. Ello provoca un incremento de la temperatura corporal, y puede afectar a diversos tejidos en función de cuál sea la profundidad de penetración. Los campos electromagnéticos de frecuencias comprendidas entre 1 MHz y 10 GHz penetran en los tejidos expuestos y producen una elevación de temperatura debido a la absorción energética. La profundidad de penetración es mayor en las frecuencias más bajas y menor en las más altas. Como ya vimos en anteriores artículos, un parámetro definido para relacionar la absorción de energía electromagnética por los tejidos biológicos es la *tasa de absorción específica TAE* (SAR). Se mide en watt/kg, y es utilizada como valor de referencia en distintas normativas o guías internacionales, para limitar la exposición y proteger a las personas de los posibles efectos que puedan derivarse del aumento de temperatura[2]. El valor límite se sitúa en 4 watt/kg, que puede producirse en determinadas zonas como, por ejemplo, en campos de antenas de radar y/o de televisión.

Habitualmente se indica que los efectos térmicos son inocuos puesto que, en condiciones normales, el organismo dispone de mecanismos de termorregulación que actúan constantemente para mantener la temperatura del cuerpo dentro de unos determinados límites. Cuando ello no es posible da lugar a una hipertermia y estrés térmico, que pueden ser causa de importantes lesiones e incluso la muerte, según sean la densidad de potencia y el tiempo de exposición, hecho suficientemente constatado en experimentación animal. Las zonas más sensibles son aquellas poco vascularizadas, como las partes transparentes de los ojos que podría dar lugar a la aparición de cataratas. Asimismo, en los hombres, un aumento prolongado de temperatura en los testículos podría favorecer la esterilidad.

Está aceptado científicamente que la respuesta biológica predominante en exposiciones de telefonía móvil es la térmica. Se produce un incremento a corto plazo de la temperatura de los tejidos y del cuerpo en general que en ningún caso es superior a 1 ºC, lo cual podría ocurrir para valores de TAE (SAR) mayores de 4 watt/kilogramo[3].

La temperatura no es más que un reflejo del grado de agitación de la estructura molecular del organismo, que es mayor cuanto más alta sea ésta. Como ocurre en un horno microondas, la interacción de los campos electromagnéticos con la materia provoca un aumento del movimiento de su estructura molecular, elevando por tanto su temperatura. La mayor eficacia se produce cuando existe "resonancia" y las moléculas de agua aumentan enormemente su agitación elevándose la temperatura. Por ello cuando introducimos una fuente de cristal con verdura, ésta se calienta mucho más que la fuente[4].

Los primeros prototipos de los terminales móviles tuvieron que rediseñarse para limitar el exceso de energía térmica que generaban. Hoy día se asegura que ningún teléfono móvil, incluso trabajando a máxima potencia, provoca un aumento superior a 0,1 ºC en el cerebro[5]. Debido a que el tejido nervioso del cerebro está muy vascularizado, dichos incrementos de temperatura serían disipados por el riego sanguíneo, por lo que no cabe esperar efectos duraderos derivados de dicha exposición. Aún cuando la exposición fuera larga, el pequeño aumento de temperatura producido es muy inferior al que puede dar lugar otro tipo de fenómenos no electromagnéticos (por ejemplo el ejercicio físico), por lo que parece que los temores en este sentido carecen de fundamento.

La duda o controversia suele estar en los efectos *no térmicos*, de los cuales no existe unanimidad o consenso sobre las conse-

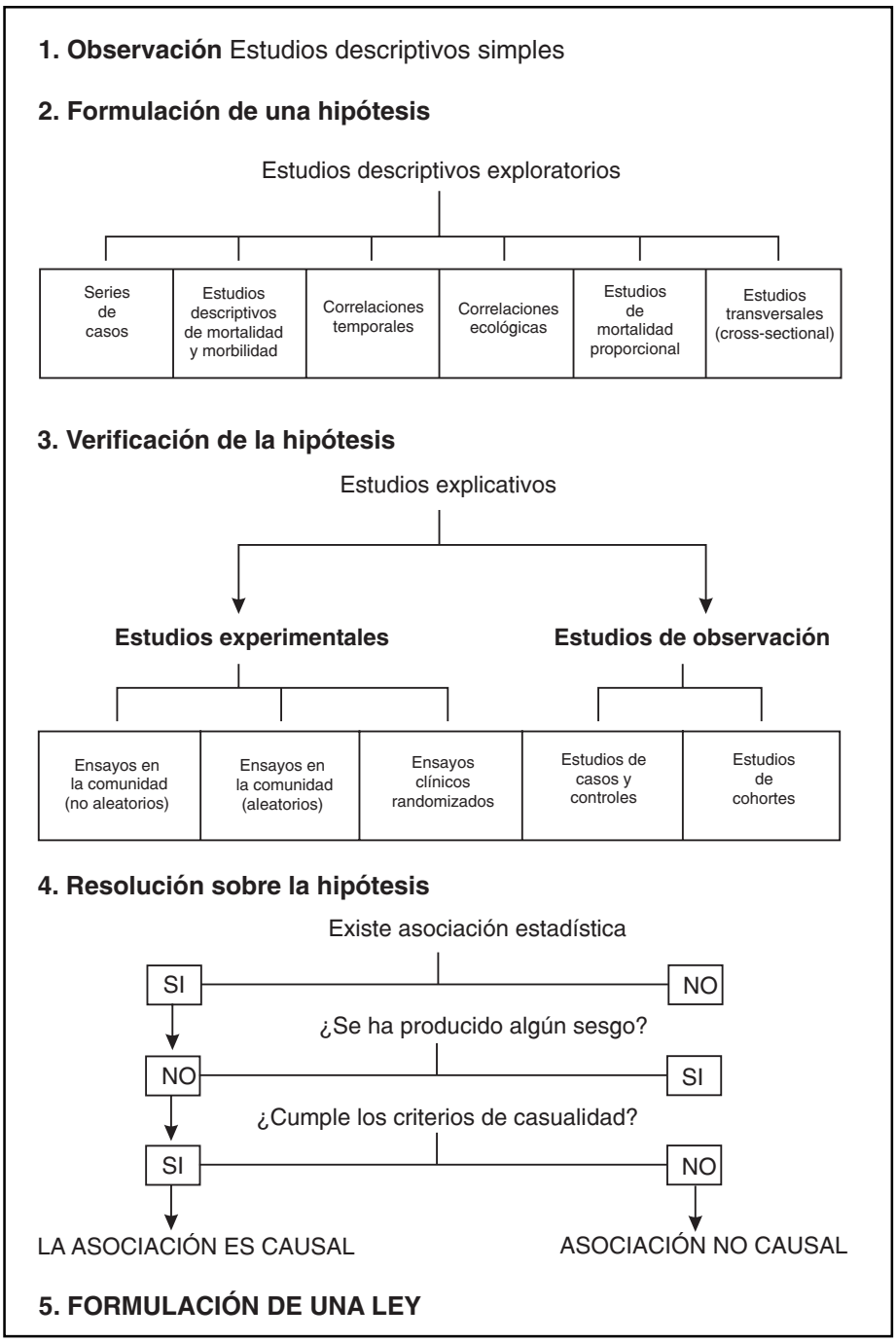

Figura 1.- Fases de un método epidemiológico. Fuente: Epidemiología laboral. Pérez J. y otros, INSHT (Madrid).

cuencias que pueden tener.

Efectos no térmicos: Son los más discutidos hoy día y se asocian a los producidos por niveles bajos de intensidad de campos electromagnéticos. Son difíciles de demostrar y resulta muy complejo establecer una correlación clara entre el efecto y su causa. Se producen sin que exista un aumento de temperatura significativo por lo que deben ser objeto de investigaciones exhaustivas para llegar a conclusiones prudentes. Suelen asociarse a mutaciones genéticas, tumores y cambios en la estructura celular.

La diversidad de efectos que, según determinados autores, pueden producirse con niveles de densidad de potencia incluso inferiores a 1 mW/cm^2, resulta alarmante y preocupante: alteraciones nerviosas, pérdidas de memoria, alteraciones celulares, cromosómicas y genéticas, disfunciones cardiovasculares, metabólicas, encefalográficas[6], efectos sobre la reproducción, disminución de la permeabilidad cerebral[7] (barrera hematoencefálica), tumores, cáncer, etc.

La opinión de la Organización Mundial de la Salud al respecto es que *estos efectos no están suficientemente comprobados para restringir o limitar la exposición humana a campos electromagnéticos de baja intensidad*[8].

Algunos estudios señalan que, en la banda de frecuencias 1 MHz a 10 GHz y en exposiciones con niveles muy bajos, puede alterarse la actividad eléctrica del cerebro de gatos y conejos debido a cambios en la movilidad del ión calcio. Este efecto también se ha comprobado en células y tejidos aislados. Si este efecto tuviera lugar en los seres humanos podrían originarse malformaciones en el feto así como abortos espontáneos.

Según citan Ubeda y Trillo[9], reconocidos expertos e investigadores del Hospital Ramón y Cajal de Madrid "*...existen indicios, limitados pero repetidos de la existencia de determinados efectos no térmicos que aconsejan una ampliación y profundización en la investigación de los mecanismos biológicos y biofísicos de respuesta a estas radiaciones no ionizantes...*"

El Dr. José Luis Bardasano, director del Instituto de Bioelectromagnetismo de la Universidad Alcalá de Henares (Madrid), afirma que la glándula pineal es un receptor electromagnético de alta sensibilidad y cuando se altera por los campos electromagnéticos artificiales se produce un trastorno de infinidad de funciones biológicas de nuestro organismo[10]. Ello podría afectar a la producción de melatonina, hormona que regula los ritmos biológicos y que está relacionada con el funcionamiento del sistema inmunitario[11]. Esto podría explicar que personas lo suficientemente expuestas a dichos campos sufran dolores de cabeza, insomnio, irritabilidad y puedan llegar a desarrollar ciertos tipos de cáncer.

Existen estudios que indican que la exposición a campos electromagnéticos pueden alterar el ritmo biológico en los mamíferos habiéndose constatado también en humanos, aunque obteniéndose resultados dispares, debido principalmente a diferencias metodológicas, por lo que es difícil obtener alguna conclusión al respecto.

El sistema nervioso es sensible a la exposición a campos electromagnéticos, en especial cuando ésta es prolongada y los niveles de intensidad de campo son elevados. Sus efectos pueden ser desde una alteración del comportamiento hasta alteraciones en los niveles de los neurotransmisores. Sin embargo no se conoce con precisión la relevancia que dichos efectos pueden tener en la salud de las personas.

Conceptos básicos sobre estudios epidemiológicos

La epidemiología es una disciplina, basa-

da en el análisis científico y cuyo objetivo es el estudio descriptivo y analítico de la salud y enfermedad como fenómeno biológico y social. Es el único método aceptado científicamente para asociar cuantitativamente y estadísticamente significativa una determinada exposición como causa del cáncer. Aún así, los efectos presumiblemente peligrosos para la salud, debidos a un agente físico o químico, deben ser investigados también desde la experimentación en laboratorio mediante métodos y técnicas rigurosas, de manera que del análisis de todas ellas puedan derivarse conclusiones totalmente fiables y seguras.

Existen básicamente dos tipos de diseños epidemiológicos: unos se basan en el método deductivo y otros en el inductivo.

En el método inductivo, y partiendo de un conjunto de observaciones, se formula una hipótesis que debe ser verificada mediante la experimentación, concluyendo con la formulación de una ley universal. Cuando por razones éticas o legales no es posible la experimentación, se recurre a la observación, analizando e interpretando todos los datos recogidos. En este caso, el estudio epidemiológico estaría basado en el método deductivo.

Todas las fases de un estudio epidemiológico requieren una planificación y análisis exhaustivos para obtener resultados concluyentes sobre la hipótesis establecida y poder generalizarlos al conjunto de la población. Son estudios que utilizan muchos recursos (económicos, temporales) puesto que el tiempo de latencia o periodo hasta que se manifiesta la enfermedad es, a veces, muy largo lo cual dificulta la obtención de resultados en periodos breves. Con el fin de evitar los mínimos errores posibles, deben utilizarse controles de calidad sobre las mediciones que se efectúen (enfermedad y exposición), determinando su repetibilidad así como validez interna. Los estudios metodológicos deben desarrollarse con una metodología muy precisa y sus resultados tienen que ser perfectamente reproducibles.

Las fases de un método epidemiológico, indicadas más explícitamente en el esquema de la figura 1, pueden resumirse en las siguientes[12]: 1) Observación 2) Formulación de una hipótesis 3) Verificación de la hipótesis: estudios experimentales (ensayos) o de observación (estudios de casos y controles; estudios de cohortes) 4) Resolución sobre la hipótesis y 5) Formulación de una ley universal.

Los estudios epidemiológicos utilizados para conocer la incidencia de la exposición a un determinado agente (físico, químico) suelen ser longitudinales, es decir, que consideran la secuencia temporal entre la presencia de los factores casuales y el efecto. Según la estrategia seguida puede ser un estudio de *caso-control* (la evolución de la exposición se realiza de forma retrospectiva, por ejemplo, utilizando cuestionarios) o de *cohortes* (normalmente mediante estudios prospectivos). Estos últimos son los más aceptados por la comunidad científica ya que en general incluyen la totalidad de la población a riesgo y tienen un diseño semejante al de una situación experimental. Los estudios de *cohortes* se basan en observar a una población sometida a un riesgo comparándola con otra población que debe ser análoga en todo salvo, lógicamente, en la exposición. Se realiza un seguimiento y control evaluándose la aparición de enfermedades en relación con dicha exposición. La población o muestra utilizada debe ser lo suficientemente amplia para que las conclusiones obtenidas tengan validez estadística.

La Unión Europea establece tres categorías distintas para los agentes o sustancias clasificadas como carcinógenas[13]:

1. Aquellos que se obtienen mediante

estudios epidemiológicos. Existe una relación probada entre causa y efecto, es decir, entre la exposición y el cáncer. Son elementos o sustancias que se sabe que son carcinógenas para el ser humano.

2. Agentes o sustancias que pueden considerarse como carcinógenas para el ser humano. Se obtienen por estudios a largo plazo por experimentación animal y por otros estudios que hacen suponer que serían carcinógenas para el hombre. Dichos agentes o sustancias deberían ser considerados como carcinógenos para el ser humano.

3. Son aquellas sustancias con posibles efectos carcinógenos para el ser humano. Son preocupantes pero no existe suficiente información para obtener una evaluación satisfactoria. Se detectan mediante experimentación animal pero no existen suficientes garantías para incluirlos en la 2ª categoría.

Un proceso de carcinogénesis (según el modelo de múltiples etapas) consta de las siguientes fases:

1. Iniciación: las células "normales" se convierten en "precancerosas" debido a la actuación de los agentes genotóxicos.

2. Promoción: las células "precancerosas" se convierten en "cancerosas", entre otros motivos, al no poder repararse el daño genético producido.

3. Progresión: el tumor se desarrolla y puede producir metástasis en otras partes del organismo.

Determinados agentes físicos y/o químicos intervienen en la fase de iniciación y/o promoción (por ejemplo las radiaciones ionizantes).

Investigaciones y resultados

Existen diferentes métodos para evaluar los efectos biológicos que producen los campos electromagnéticos en los seres vivos. En laboratorio se utilizan los experimentos *in vitro* (cultivos de células o tejidos aislados en tubos de ensayo) e *in vivo* (organismos, animales vivos o personas expuestos al agente), y, a veces, también se recurre a simulaciones con maquetas de modelos humanos. Sin embargo, como ya hemos mencionado, los estudios epidemiológicos están considerados como el único método científico validado para demostrar o afirmar que existe una relación entre una causa y su efecto.

Los efectos biológicos detectados en un cultivo celular (*in vitro*) o en una experimentación animal (*in vivo*) no son necesariamente extrapolables al ser humano. Entre otras razones, las relaciones longitud de onda-tamaño de los órganos son muy distintas. Por eso la valoración de potenciales efectos sobre la salud en las personas, a partir de los datos obtenidos experimentalmente es relativamente complejo y perfectamente cuestionable. Sin embargo cuando se intenta identificar qué agentes son cancerígenos, y como complemento a los estudios epidemiológicos, es muy útil y conveniente la experimentación animal.

Uno de los intereses principales de los estudios actuales está en comprobar si existe una relación entre el uso de los teléfonos móviles y el cáncer, principalmente asociado a los órganos más expuestos durante su uso (el cerebro y las glándulas salivares). La hipótesis que se baraja es que *"...los campos electromagnéticos producirían mutaciones en las células que darían lugar a tumores, pero aún no existen estudios epidemiológicos serios que puedan demostrarlo..."*, según cita el doctor Miguel Martín, oncólogo del Hospital Clínico de Madrid[14].

Un dato a tener en cuenta es que, estadísticamente, los tumores cerebrales se producen de forma natural, con una incidencia anual del 0,006 %. Es decir, que 6 de cada 100.000 personas anualmente desarrollan tumores cerebrales sean o no usuarios de la telefonía móvil.

Experimentación animal. Según algunos experimentos con animales sometidos a largos periodos de exposición de campos electromagnéticos similares a los generados por los terminales móviles, existe la posibilidad de que puedan modificar el ADN, con las graves consecuencias que ello implica. Estos resultados, sin embargo, aún no han podido ser contrastados.

A nivel celular, el punto principal de interacción con los campos electromagnéticos parece ser que es la membrana que envuelve a la célula, perturbando sus funciones lo cual afectaría a toda la comunicación intercelular así como a su capacidad respuesta inmunológica.

Existen numerosos estudios acerca de los trastornos detectados en ratas expuestas a campos electromagnéticos de frecuencias utilizadas en la telefonía móvil[15].

Citemos algunas de las conclusiones obtenidas:

Fragilidad en cromosomas de células nerviosas después de una exposición a una frecuencia impulsional de 2,5 GHz con impulsos de 2 microsegundos cada 2 milisegundos[16]

Aumento de la incidencia de cáncer en ratones genéticamente modificados situados a 0,65 metros de una antena transmisora que opera en la banda de la telefonía móvil[17]

Mayor incidencia de linfoma en ratones con predisposición genética a contraer linfoma. En el experimento se utilizaron 200 ratones manipulados genéticamente. La mitad de ellos fue expuesta a una radiación similar a la producida por los teléfonos móviles, dos veces al día, durante media hora. Al cabo de 18 meses se encontró que éstos tenían el doble de linfomas que los no expuestos[18].

Se han constatado modificaciones en el electroencefalograma de gatos y conejos en la movilidad del calcio en los tejidos encefálicos en vitro y en vivo, en la toxicidad de los linfocitos en vitro y la actividad en vivo de una enzima implicada en el crecimiento de la división celular. El efecto se producía con niveles de TAE (SAR) inferiores a 0,01 W/Kg[19].

Se han detectado fugas de albúmina a nivel de la barrera hematoencefálica. Este hecho se constató en un experimento llevado a cabo por un equipo sueco del Departamento de Neurocirugía y de Física de radiación de la Universidad de Lund[20], exponiendo a más de un millar de ratones a las frecuencias de la telefonía móvil (900 Mhz y 1800 Mhz). Este efecto puede permitir a moléculas tóxicas que penetren en el cerebro y ser causa de diversas patologías. Se producía en niveles de densidad de potencia de tan solo 2,5 microwatt/cm^2 o TAE (SAR) de 1 mW/kg .

Estudios epidemiológicos. A continuación se citan algunos ejemplos sobre recientes resultados de estudios epidemiológicos con relación a la posibilidad de que la telefonía móvil produzca cáncer en el ser humano. En ninguno de ellos se halló una asociación entre el uso del teléfono móvil y tumor cerebral ni tampoco una relación dosis-respuesta:

Estudio caso-control realizado por Muscat (1999): deduce que existe un mayor riesgo de tumores en el lado del cerebelo en el que se aplica el teléfono móvil, aunque no detectó un aumento de cánceres cerebrales en general. Sin embargo, el mismo incremento fue detectado también en los usuarios de teléfonos fijos[21].

Estudio caso-control dirigido por el Dr. Leonnart Hardell, especialista en oncología del centro médico de Orebro (Suecia, 1999): no se observaron diferencias de frecuencias de cánceres cerebrales entre usuarios de teléfonos móviles y no usuarios. Se detectaron tendencias, no significativas estadísticamente, a un exceso en la frecuencia de tumores en los lóbulos temporal/occipital de 2,5 veces más entre los usuarios de teléfonos móviles. El estudio se basó en una muestra de 209 personas con tumores cerebrales comparándolas con un grupo de control de 425 personas sanas. Admitió, sin embargo que su estudio no era significativo por el tamaño de la muestra analizada y por tanto

sus conclusiones no pueden extrapolarse científicamente. Sin embargo, indica que los resultados apuntan a indicios biológicos de un incremento de riesgo en el desarrollo de tumores malignos[22].

Uno de los últimos informes publicados en la revista *American Medical Association* (diciembre 2000), basado en un estudio realizado durante un periodo de 4 años (1994-1998) en 900 personas con edades entre 18 a 80 años, concluía que no parecen existir vínculos entre el uso del teléfono móvil y el cáncer de cerebro. Sin embargo, los propios autores destacan que es un estudio a corto plazo y recomiendan que se continúe investigando para valorar los efectos que puede tener a largo plazo.

En una revisión, efectuada en 1999, de la literatura epidemiológica sobre radiofrecuencias, Elwood[23] concluyó que: "*... se ha informado de varias asociaciones positivas sugiriendo un incremento del riesgo de algunos tipos de cáncer entre aquellos que tienen una mayor exposición a emisiones de radiofrecuencia. Sin embargo, los resultados son inconsistentes: ningún tipo de cáncer ha sido asociado de forma consistentes con la exposición a radiofrecuencias. La evidencia epidemiológica no tiene la fuerza y la consistencia necesaria para llegar a una conclusión razonable de que las emisiones de radiofrecuencia son una probable causa de uno o más tipos de cáncer en humanos. La evidencia es débil debido a su inconsistencia, el diseño de los estudios, la falta de detalles sobre la exposición real y las limitaciones de los estudios en lo relativo a su capacidad para tratar otros posibles factores relevantes. En algunos estudios puede haber sesgos en los usos de los datos...*"

Algunos estudios concluyen que existe una posible relación entre el uso del teléfono móvil y el dolor de cabeza.

Asimismo, en una revisión del año 2000 sobre la literatura epidemiológica de radiofrecuencias, Kenneth Rothman, jefe de un equipo del Instituto de *Investigaciones Epidemiológicas de Newton Lover Falls* (Massachussets), que participó en el programa *Wireless Technologyh Research* subvencionado con varios millones de dólares, concluía que[24]:

"...ninguno de los diversos estudios sobre exposición laboral a radiofrecuencias ni de los escasos en usuarios de teléfonos móviles nos ofrece una evidencia clara de una asociación con tumores cerebrales y otras enfermedades. Incluso si los estudios en proceso hallaran unos efectos relativamente considerables sobre los tumores cerebrales, el incremento absoluto del riesgo probablemente sería menor que el riesgo de sufrir un accidente de tráfico..."

En un estudio realizado a 200.000 empleados de Motorola, entre 1976 y 1996, publicado el pasado año, se concluyó que no había ninguna asociación entre la exposición y la aparición de tumores cerebrales[25].

Los resultados de los estudios epidemiológicos que se han realizado no muestran una relación definitiva causa efecto entre la exposición y su incidencia en la esperanza de vida o en causas específicas de deterioro de la salud. Los distintos resultados que existen pueden explicarse, en parte, por diferencias en su diseño y metodología. También, quizás, porque hasta

hace tan solo dos o tres años, los diversos estudios únicamente tenían en cuenta exposiciones a niveles elevados pero no a bajos niveles en zonas expuestas muy localizadas (cabeza, cuello).

Experimentación con voluntarios. En determinadas ocasiones, se recurre a la experimentación con personas voluntarias, con el fin de poder disponer de más datos acerca de los factores que pueden influir en el desarrollo de determinadas enfermedades. Algunos de los resultados obtenidos son:

Después de una exposición de 2 horas diarias durante cuatro semanas no se encontró ninguna diferencia significativa entre los ritmos circadianos de determinadas hormonas, incluso en la melatonina, aún cuando sí existe una inhibición de su secreción en animales expuestos al efecto de campos electromagnéticos[26].

Se detectó una ligera modificación de la actividad eléctrica cerebral, después de una hora de exposición, traduciéndose en ligeras modificaciones del eletroencefalograma[27].

Se ha evidenciado que puede resultar afectado el sistema endocrino, nervioso e inmunitario, siendo este último el más complejo debido a la influencia de la susceptibilidad individual de cada persona.

El Profesor Braun del Instituto de Neurología de la Universidad de Freiburg (Alemania) comprobó que se producía un aumento de la tensión arterial de 5-10 mm de Hg en las personas cuando permanecían expuestas durante 35 minutos cinco veces al día a un teléfono móvil GSM. Se realizó en 7 hombres y 3 mujeres, de edades entre 26 a 36 años. Esta variación, sin embargo, no tiene consecuencias conocidas sobre la salud[28].

La exposición a los campos electromagnéticos de la telefonía móvil reduce la duración de la fase REM (movimientos rápidos oculares) durante el sueño. Se constató en 12 hombres durante 3 noches consecutivas y tan solo uno de ellos tenía el aparato activado sin que lo supiera. Se situó a 60 cm de la cabeza emitiendo a 900 MHz con 0,8 W.[29]

Algunos estudios concluyen que existe una posible relación entre el uso del teléfono móvil y el dolor de cabeza[30]. Sin embargo, al realizarse con voluntarios que manifestaban padecer dicho síntoma, en determinadas condiciones controladas y bajo la supervisión de los investigadores, no se detecta dicha asociación[31].

También se han detectado efectos no térmicos, en este caso aparentemente positivos, como una mayor velocidad de respuesta en tests o pruebas psicotécnicas[32].

Opiniones

A continuación se recogen algunas citas de expertos y organismos internacionales como muestra de las diversas opiniones que existen al respecto:

Dra. Jocelyne Leal, investigadora del Departamento de electromagnetismo del Hospital Ramon y Cajal de Madrid: *"...en experimentos sobre animales y tejidos humanos, las radiaciones no ionizantes pueden modificar el crecimiento de células malignas y sanas.....los estudios sobre los posibles efectos de los campos electromagnéticos en la salud no son concluyentes pero sí arrojan una sospecha razonable de que su exposición puede aumentar el riesgo de padecer cáncer..."*

Dr. José Luis Bardasano, director del Instituto de Bioelectromagnetismo de la Universidad Alcalá de Henares de Madrid[33]: *"...los campos electromagnéticos tienen el mismo efecto que la luz sobre la glándula pineal (ubicada en el cerebro), por lo que son inhibidores de la secreción de melatonina, una hormona que dicha glándula segrega en la oscuridad por la noche y que regula los ritmos biológicos del organismo y es un potente anticancerígeno y antidepresivo. Una exposición contínua puede inhibir o alterar sus funciones..."*

En 1998, se publicaron dos revisiones del potencial genotóxico de las radiofrecuencias, es decir, de su capacidad de modificar la información genética o ADN, siendo sus conclusiones las siguientes:

Verchaeve y Maes[34]: *"... según la mayoría de los artículos, los campos de radiofrecuencias, y en particular las frecuencias utilizadas por los teléfonos móviles, no son genotóxicas: no inducen efectos genéticos in vitro e in vivo, por lo menos bajo condiciones no térmicas, y no parecen ser teratogénicas o inducir cáncer..."*

Brusich y otros[35]: *"...los datos de cerca de 100 estudios sugieren que la radiación en radiofrecuencias no es directamente mutagénica y que los efectos adversos de la exposición de organismos a intensidades de potencia altas de radiación en radiofrecuencias son fundamentalmente el resultado de la hipertermia; sin embargo, podría haber sutiles efectos indirectos en la replicación y/o transcripción de los genes bajo condiciones de exposición relativamente restringidas..."*

Dr. William Steward, del grupo de expertos de Gran Bretaña[36]: *"...el conjunto de la evidencia hasta la fecha sugiere que la exposición a energía de radiofrecuencia con niveles por debajo de las guías de exposición actuales no causa efectos perjudiciales para la salud de la población..."*

Organización Mundial de la Salud (2000)[37]: *"...las evidencias científicas actuales indican que es improbable que la exposición a campos de RF, como los emitidos por los teléfonos móviles y sus estaciones base, induzca o produzca cáncer. Varios estudios en animales expuestos a campos de RF similares a los emitidos por los teléfonos móviles no encuentran evidencia de que la RF cause o estimule tumores cerebrales. A pesar de que un estudio realizado en 1997 encontró que los campos de RF incrementan la tasa de ratones genéticamente manipulados que desarrollan leucemia, las implicaciones de estos resultados para la salud humana no es clara. Varios estudios vienen llevándose a cabo para confirmar este hallazgo y determinar cualquier relevancia de estos resultados con el cáncer en seres humanos. Tres estudios epidemiológicos recientes no encontraron evidencia convincente del incremento de riesgo de cáncer o cualquier otra enfermedad debido al uso de teléfonos móviles.*

Por otra parte, se ha notificado que la exposición a campos electromagnéticos de baja intensidad, insuficiente para producir un aumento de temperatura en los tejidos, altera la actividad eléctrica del cerebro en determinados animales, al modificar la movilidad de los iones de calcio. Este mismo efecto se ha constatado en tejidos y células aisladas. Sin embargo, no están aún suficientemente demostradas sus consecuencias par la salud humana..."

Informe técnico elaborado por el Comité de Expertos de la Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral de nuestro país[38] (2001): *"...el comité de expertos considera que no puede afirmarse que la exposición a campos electromagnéticos, dentro de los límites establecidos en la Recomendación del Consejo de Ministros de Sanidad de la Unión Europea relativa a la exposición del público en general en frecuencias de 0 Hz a 300 GHz produzca efectos adversos para la salud humana. Por tanto, el Comité concluye que el cumplimiento de la citada Recomendación <u>es suficiente</u> para garantizar la protección de la población..."*

"...la exposición a campos electromagnéticos por debajo de los niveles de la Recomendación de la Unión Europea, aunque <u>pudiera inducir</u> alguna respuesta biológica en condiciones experimentales, no está demostrado que pueda implicar efectos nocivos para la salud. Sin embargo no disponemos de estudios epidemiológicos que evalúen los efectos

nocivos a largo plazo derivados de la exposición a radiofrecuencias..."
"...hasta el presente no se ha llegado a determinar un mecanismo biológico que explique una posible relación causal entre exposición a campos electromagnéticos y un riesgo incrementado de padecer alguna enfermedad..."
"...sobre la base de las evidencias científicas disponibles, las antenas de telefonía móvil no parecen representar un peligro para la salud pública. Igualmente, las evidencias actuales no indican asociación entre el uso de los teléfonos móviles y efectos nocivos para la salud..."
"... a pesar de que la mayoría de estudios indican la ausencia de efectos nocivos para la salud, por un principio de precaución conviene fomentar el control sanitario y la vigilancia epidemiológica de la exposición con el fin de evaluar posibles efectos a medio y largo plazo de los campos electromagnéticos..."
"...las autoridades sanitarias deberían realizar campañas informativas entre los ciudadanos para promover un uso racional del teléfono móvil, con objeto de reducir exposiciones excesivas e innecesarias, especialmente en niños, adolescentes, mujeres gestantes, portadores de implantes activos, etc. Asimismo, deberá ponerse especial interés en la realización de campañas contra el uso de teléfonos móviles mientras se conduce, o en áreas particularmente sensibles en el interior de hospitales..."
"...por un principio de precaución debería evitarse que el haz de emisión directa de las antenas de telefonía afecte a espacios sensibles como escuelas, centros de salud, hospitales o parques públicos..."
"...como establece la Recomendación del Consejo de Ministros de la Unión Europea, deberían realizarse estudios de evaluación del riesgo que permitan identificar las fuentes o prácticas que dan lugar a exposición electromagnética de los individuos, a fin de adoptar medidas adecuadas de protección sanitaria..."

Conclusiones

Después de una lectura atenta de lo expuesto en este artículo, creo que el lector estará de acuerdo conmigo en que no es posible, por ahora, establecer conclusiones claras y definitivas sobre la incidencia de los campos electromagnéticos variables procedentes de la telefonía móvil, en la salud humana. Se han realizado y están en curso numerosos estudios al respecto y no existe una opinión unánime y concluyente firme sobre la total inocuidad de los mismos. Hay multitud de factores externos que pueden influir y, no olvidemos que la respuesta biológica depende también de la susceptibilidad individual de cada uno de nosotros.

Debe evitarse que el haz de emisión directa de las antenas afecte a espacios sensibles: escuelas, hospitales o parques públicos.

Por otra parte, puede parecer sorprendente, a veces, que el mismo experimento realizado por distintos científicos e investigadores no conduzca a resultados idénticos. Sin embargo, no siempre es fácil reproducir exactamente las mismas circunstancias y seguir la misma metodología. Algunas veces, no se dispone de toda la información para reproducir el experimento o se producen sesgos en la muestra elegida que provoca que no puedan extrapolarse sus resultados. En los estudios epidemiológicos es dificultoso identificar a las poblaciones expuestas así como la comprobación retrospectiva de dicha exposición. De los estudios realizados con voluntarios, tampoco pueden desprenderse conclusiones unánimes al respecto de su perjuicio a la salud.
Otro grave inconveniente es que los estudios epidemiológicos son laboriosos y requieren un determinado plazo de tiempo durante el cual, posiblemente la tecnología evolucionará y sus resultados no podrán garantizar nada con respecto a los posibles riesgos que puedan existir en el futuro.
Hasta ahora, la opinión generalizada es que no existe evidencia científica según la cual los teléfonos móviles pueden causar problemas a la salud humana cuando la exposición está dentro de los límites establecidos, estableciendo, en particular, que no puede demostrarse que exista una relación conocida entre el uso de teléfonos móviles y el cáncer. Según palabras de la directora general de Consumo, Dolores Flores, "*... no hay constancia de que las antenas y los teléfonos móviles representen un peligro para la salud pública, aunque aún no existen suficientes estudios...*" El hecho de que los expertos o científicos no estén de acuerdo sobre la realidad de un riesgo no significa que el riesgo no exista o no esté presente. La ausencia de una prueba que pruebe la existencia entre una causa y un efecto no es una prueba de que dicha relación no exista. Es evidente que debe tratarse como un problema de salud pública causada por un agente medioambiental y como tal debe tomarse, ya que sería una irresponsabilidad política que pudiera desarrollarse sin control alguno, por lo menos hasta que exista una respuesta unánime y clara sobre la inocuidad o no de sus efectos biológicos sobre los seres humanos.
La Unión Europea y otras importantes entidades internacionales, privadas y públicas, están dedicando muchos recursos económicos en diversos programas de investigación al respecto. Es de esperar que, en un plazo, no excesivamente largo, podamos disponer de unos resultados definitivos y consensuados científicamente que permitan establecer la adecuada política de prevención, si ha lugar, evitando riesgos innecesarios que pudieran afectar a la salud pública.

Bibliografía

Para la elaboración del presente artículo se ha utilizado, principalmente, la siguiente bibliografía:

Moulder, John E. (2001) *Antenas de telefonía celular y salud humana*. Catedrático de Oncología radioterápica, Radiología y Farmacología/Toxicología del Colegio Médico de Wisconsin. Traducción al español por Carlos Llanos (REE). Accesible en Internet: www.mcw.edu/gcrc/cop/telefonos-moviles-salud/toc.html

Organización Mundial de la Salud (1998) *Campos electromagnéticos y salud pública*. Nota descriptiva 183.

Perez, Joaquín *et alii* (1992) *Epidemiología laboral*. INSHT, Madrid

Ubeda, A. (2001) *Bases biológicas para normativas de protección ante radiaciones no ionizantes*. Servicio BEM-Investigación, Hospital Ramon y Cajal, Madrid.

Ubeda, A. y Trillo, Mª Angeles (1999) *Radiaciones RF de Antenas de telefonía móvil y salud pública: el estado actual de la cuestión*. Radioprotección 20, 2, págs 24-36

Vargas, Fco, *et alii* (2001) *Campos electromagnéticos y Salud Pública* Informe Técnico elaborado por el Comité de Expertos. Subdirección General de

Sanidad Ambiental y Salud Laboral.

Notas

1 En los últimos 3 años se han publicado alrededor de 900 artículos en revistas científicas internacionales, según indica el Informe Técnico elaborado por el Comité de expertos de la Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral (2001).

2 Jauset J. (2001), *Campos electromagnéticos y salud (III): normativas y recomendaciones* VídeoPopular 93, págs 56-66

3 Para valores de TAE (SAR) superiores a 4 W/kg se producen incrementos de temperatura por encima de 1 ºC. Según datos obtenidos a partir de investigaciones con voluntarios y de estudios epidemiológicos con trabajadores expuestos a fuentes potentes tales como instalaciones de radares, sistemas de terapia por diatermia o de sellado por microondas, se confirma que incrementos de temperatura superiores a 1º C provocan efectos nocivos en la salud de los individuos expuestos. Está comprobado que una exposición a niveles de radiofrecuencias suficientemente elevados para calentar un cuerpo puede provocar abortos o malformaciones congénitas. Sin embargo tales niveles no se dan nunca en los alrededores de las estaciones base de telefonía móvil.

4 La resonancia es un fenómeno que se produce al coincidir la frecuencia de los campos electromagnéticos con la de rotación de las moléculas de los tejidos, amplificándose la respuesta de éstas y aumentando notablemente su energía cinética. Esta energía es transformada en calor produciéndose un incremento de la temperatura tisular. El calor sobrante se disipa a través del sistema circulatorio. Aquellas zonas con mayor riesgo son las menos vascularizadas (ojos, testículos). La frecuencia de resonancia del cuerpo entero es de unos 70 MHz y la de la cabeza, 400 MHz Entre 400 MHz y 2GHz se producen resonancias muy localizadas, que se conocen como puntos calientes.

5 Leeuwen *et alii* (1999) Phys. Med. Biol. 44, pág 2367

6 Eulitz et alii (1998), *Mobile phones modulate response patterns of human brain activity*. NeuroReport 9, págs 3229-32

7 Duehring, Cindy (1995), *EMFs can increase chemical uptake in the brain.* Medical and legal briefs.

Nota aclaratoria: La barrera hematoencefálica regula ,a modo de filtro el paso selectivo de moléculas de la sangre al cerebro, manteniendo el equilibrio fisiológico que éste necesita. Si se debilita la permeabilidad cerebral, el cerebro queda sin defensas a la entrada de virus, impurezas de la sangre y aditivos alimentarios, aumentando la toxicidad de dichas sustancias.

8 Organización Mundial de la Salud (1998) *Campos electromagnéticos y salud pública.* Nota descriptiva 193.

9 Ubeda, A. y Trillo, M.A (1999). *Radiaciones RF de Antenas de telefonía móvil y salud pública: el estado actual de la cuestión*. Radioprotección 20, 2, págs 24-36

10 Conclusiones similares han sido obtenidas por la investigadora Russel Reiter de la Universidad de Tejas.

11 Esta hormona se cree que actúa positivamente sobre la reducción del crecimiento de tumores y que es, por tanto, anti-cancerígena. Se produce en ausencia de luz, es decir, durante la noche. Por tanto, una exposición durante la noche a radiaciones solares interfiere o impide su secreción. Campos electromagnéticos pulsantes pueden inducir corrientes eléctricas en el cerebro semejantes a las que crean sensaciones visuales de luz. Una dosis tan débil de 0,022 microW/cm^2 podría provocar este efecto.

12 Perez, J.*et alii* (1992) *Epidemiología laboral*. INSHT, Madrid

13 Un carcinógeno es un elemento cancerígeno, definiéndose como tal aquél agente que puede producir o desarrollar el cáncer o inducir respuestas cancerosas en presencia de niveles bajos de otros agentes cancerígenos ya sean químicos o físicos.

14 5-11-2000, *Sociedad.* Diario La Razón, pág 38, Madrid

15 Neubauer, C. *et alii* (1990) Microwave irradiation of rats at 2,45 GHz activates pinocytic-like uptake of tracer buy capillary endothelial cells of cerebral cortex. Bioelectromagnetics 11, págs 261-268; Lai, H. *et alii* (1989) Low level microwave irradiation and central cholinergic activity: a dose-response study. Bioelectromagnetics 10, págs 203-208; Szmigielski S. *et alii* (1982) Accelerated development of spontaneous and benzopyrene-induce skin cancer in mice exposed to 2450 MHz microwave radiation. Bioelectromagnetics 3, págs 179-191; Sarkar *et alii* (1994) Effect of low power microwave on the mouse genome: a direct DNA analysis, Mutat. Res. 320, págs 141-147

16 Lai H., Sing N.P. (1996; 1995) International Journal of radiation biology and related studies in physics, chemistry and medicine, 69, 4 págs 513-521; Bioelectromagnetics 16 págs 207-210

17 Organización Mundial de la Salud (1998) *Campos electromagnéticos y Salud pública,* Nota descriptiva 193

18 Repacholi *et alii* (1997) *Lymphomas in Em-Pim1 Transgenic Mice Exposed to Pulsed 900 MHz Electromagnetic Fields*. Radiation Research 147, págs 631-640

19 Organización Mundial de la Salud, *Electromagnetic fields,* Environmental Healt Criteria 137

20 Comunicación al Parlamento europeo a Strasbourgo (17-2-2000)

21 Wireless Technologh Research Symposium, junio 1999

22 International J. Oncology 15, pág 113

23 Elwood (1999) A critical review of epidemiologic studies of radiofrequency exposure and human cancers, Environ Health Perspect 107 (Suppl 1), págs 155-168

24 Rothman, K. (2000) *Epidemiological evidence on health risks of cellular telephones*. Lancet 356, págs 1837-40

25 Morgan *et alii* (2000)

26 De Seze R. *Et alii* (1997), 2º Congreso mundial de Electricidad y Magnetismo en Biología y Medicina, Bologna, Italia 8-13 Junio 1997

27 Roschket y Mann (1997), Bioelectromagnetics 18, pág 172

28 Braun (1998) *Resting blood pressure increase during exposure to a radiofrequency electromagnetic field*, Lancet, 351 (9119) págs 1857-58

29Drs Klaus Mann y Joachim Roschke, investigadores de la Universidad de Meyance (Alemania

30 Un estudio epidemiológico realizado por Mild *et alii* en 1998 indicaba que los usuarios de teléfonos móviles (suecos y noruegos) se quejaban con mayor frecuencia de dolores de cabeza que los usuarios de teléfonos fijos

31 Hietanen y Hamalainen, 2000 XXII BEMS-EBEA Meeting. Session: 15-5

32 Preece *et alii* (1999) Int. J. Radiat. Biol. 75, pág 447

33 Castaño, Santiago. Sociedad, *Diario 16,* pág. 44, Madrid. Publicado el 21-7-97

34 Verchaeve *et alii* (1998) *Genetic, carcinogenic and teratogenic effects of radiforequency fields*. Mutat. Res. 410, págs 141-165

35 Brusich *et alii* (1998) *Genotoxicity of radiofrequency radiation.* Environ Molec Mutagen 32, págs 1-16

36 Informe sobre telefonía móvil, mayo 2000

37 Organización Mundial de la Salud (2000) Nota descriptiva 193

38 Estudio coordinado por Francisco Vargas, médico y Subdirector general de Sanidad Ambiental y Salud Laboral y por Alejandro Ubeda, investigador del Servicio de Bioelectromagnetismo del hospital Ramón y Cajal de Madrid.

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